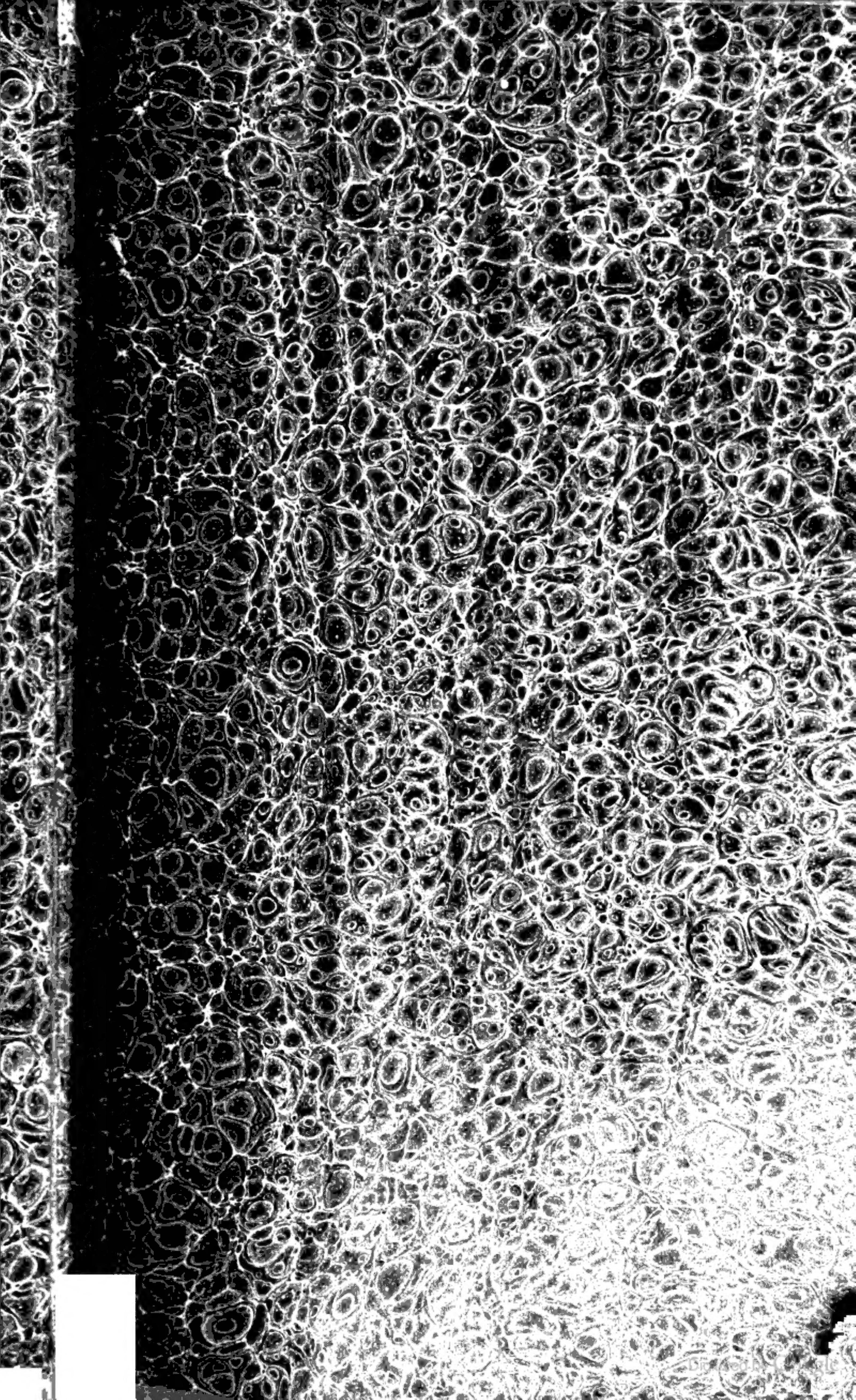
Digitized by Google



DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

APPLIQUÉS

A L'ART DE CONSTRUIRE.

PARIS, IMPRIMERIE DE G. JOUSSET, CLET ET C^ie,
rue de Furstenberg, 8.

BÉTONS AGGLOMÉRÉS

APPLIQUÉS

A L'ART DE CONSTRUIRE,

NOTAMMENT :

A L'ÉTAT MONOLITHE,

AUX CONSTRUCTIONS AGRICOLES ET URBAINES, AUX TOITURES EN VOUTE OU EN TERRASSE, AUX PLANCHERS, AUX FOSSES D'AISANCES, AUX ÉGOUTS, AUX CITERNES ET RÉSERVOIRS, AUX PONTS, DIGUES, BARRAGES, AUX AQUEDUCS ET VIADUCS, AUX TROTTOIRS ET CHAUSSÉES, AUX SILOS, AUX MASSIFS DE MACHINES, AUX TRAVAUX A LA MER, A LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER, AUX VOUTES SURBAISSÉES DE GRANDE PORTÉE, ETC., ETC. ;

ET A L'ÉTAT DE PIERRES ARTIFICIELLES,

A LA CONFECTION DE DALLES, BORDURES DE TROTTOIRS, ARRÊTES DE VOUTES, PIERRES DE SOUBASSEMENTS, MARCHES D'ESCALIERS, PIERRES PALLIÈRES, BAHUTS, CHAPERONS DE MURS, CUBES DE TOUTES DIMENSIONS ET DE TOUTES DURETÉS ; DE PIERRES MOULÉES ET ORNÉES, BAS-RELIEFS, BALCONS, BALUSTRADES, CORNICHES, PORTES, FENÊTRES, PILASTRES, COLONNES, AUGES, FONTAINES, BASSINS, ETC., ETC. ;

PAR FRANÇOIS COIGNET,

INGÉNIEUR CIVIL ET MANUFACTURIER.

PARIS,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

E. LACROIX, QUAI MALAQUAIS, 15,

Réunion de l'ancienne Maison Mathias et du Comptoir des Imprimeurs.

—

1861.

INTRODUCTION.

Après huit ans de lutte, d'efforts incessants et chaque jour renaissants, après des milliers d'expériences, après avoir été obligé de tout faire, de tout créer, théorie et pratique, procédés et machines; après des sacrifices considérables et grâce au concours moral et matériel de nos frères et associés, Stéphane et Louis Coignet, nous sommes enfin parvenu au but que nous nous étions proposé: nous avons atteint, du moins nous le croyons, la perfection dans la composition et la préparation des bétons agglomérés, et nous avons amené leur emploi à l'état complétement régulier et pratique.

En effet, avec toutes les chaux, tous les sables, tous les ciments, en tous pays, en toutes saisons, nous obtenons de la pâte de pierre susceptible d'être moulée, et par conséquent de recevoir toutes les formes; cette pâte de pierre a une prise si rapide et si intense, que quelques jours, quelques heures après la confection suffisent pour lui donner la dureté de la meilleure pierre naturelle, l'imperméabilité, la résistance la plus absolue aux plus rudes intempéries, à la plus grande chaleur, comme au froid le plus intense, à la sécheresse comme à l'humidité. Les variations atmosphériques les plus brusques, les plus excessives, loin d'altérer la pierre artificielle obtenue au moyen du moulage de cette pâte, loin de diminuer sa résistance, ne font, en vertu de la loi bien connue du durcissement progressif des bétons ordinaires, qu'en augmenter la solidité.

Les procédés au moyen desquels nous obtenons cette pâte de pierre s'appliquent à tous les genres de constructions; car, selon la qualité et les doses des matériaux que l'on emploiera, on obtiendra soit une simple maçonnerie économique remplaçant la brique ou le moellon, soit, s'il le faut, une maçonnerie assez dure pour remplacer la pierre de taille dans tous ses emplois, ou bien encore l'asphalte pour les trottoirs, et même les pavés, les dalles, le macadam des chaussées.

Or, comme au moyen de cette pâte de pierre (bétons agglomérés) on peut souder le travail du lendemain à celui de la veille, on parviendra par ce moyen à confectionner des blocs immenses de maçonnerie, sans joints, sans fissures, de véritables monolithes n'ayant pour masse d'autre limite que celle de la volonté du constructeur ou de l'étendue du travail à accomplir; de telle sorte qu'une maison, un monument, un quai, un pont, une digue, un barrage, un aqueduc, un viaduc, un égout, une citerne, un réservoir d'eau, un rempart, etc., construits par ce procédé, ne formeraient en réalité dans toute leur masse qu'un seul bloc, un monolithe.

Élément nouveau d'une haute puissance dans l'art de construire, surtout en ce qui concerne les travaux d'hydraulique, et qui n'a pas d'analogue dans les moyens actuels, puisque même avec la pierre de taille si coûteuse le constructeur a toujours à craindre l'insuffisance des jointoyages et l'action que les intempéries finissent toujours par exercer sur eux.

Ces bétons agglomérés, cette pâte de pierre ne contiennent que des corps connus et généralement em-

ployés, les chaux, les ciments, les sables, les matières pouzzolaniques (briques pilées, terre cuite, pouzzolanes naturelles). L'innovation ne consiste donc pas dans l'emploi de matériaux nouveaux, mais bien dans la manière de les préparer et de les employer.

En effet, par les procédés ordinaires, soit par la présence d'un excès d'eau, soit par le fait d'un excès de chaux, les mortiers ou bétons à base de chaux ou de ciments sont obtenus à l'état de bouillie, de pâte liquide, et sont coulés dans les capacités que l'on veut remplir.

Lorsque l'eau en excès qu'ils contiennent s'évapore, elle laisse dans le béton des vides innombrables, de telle sorte que les bétons ordinaires, par manque d'agglomération, par excès d'eau qui empêche la chaux de prendre, de cristalliser, et par l'évaporation de cette eau en excès, sont friables, crayeux, légers, poreux, absorbants, sans cohésion; ils sont pleins de fentes, de retraits, de gerçures; ils sont par conséquent incapables de résister aux causes de destruction, aux chocs, aux frottements, aux gelées, à la sécheresse; ils sont si mauvais en général, leur prise est si faible et si lente, qu'il en est résulté ce dicton qu'un béton de cent ans n'est qu'un enfant.

Mais non-seulement les bétons ordinaires ne peuvent être employés à l'élévation de constructions hors du sol parce qu'ils sont incapables de résister aux intempéries, mais encore leur emploi y rencontre un obstacle matériel invincible dans la lenteur et le peu d'intensité de leur prise, qui exige des semaines, des mois et plus encore; de telle sorte que si l'on voulait bâtir en élévation en les coulant dans des moules, il faudrait attendre

un temps illimité pour obtenir un durcissement assez grand pour pouvoir démonter les moules, ce qui rendrait ce travail impraticable : aussi a-t-il fallu se borner à n'employer les bétons que sous l'eau, ou au moins sous le sol.

Les choses se passent tout autrement par nos procédés : au lieu de couler les bétons à l'état de bouillie liquide, ainsi que cela se fait ordinairement, on obtient les bétons à l'état de pâte plastique très-ferme, ou de poudre pâteuse, état que l'on ne peut obtenir qu'au moyen de préparations spéciales et d'un broyage parfait, et en réduisant considérablement les quantités d'eau et de chaux généralement employées ; puis on verse cette pâte plastique, cette poudre pâteuse par couches minces dans des moules, en la soumettant à une vigoureuse agglomération, obtenue par le choc répété d'un corps dur et pesant; aussitôt que le moule est plein on le démonte, car le béton aggloméré est assez ferme pour conserver sa forme, et on obtient ainsi par ce procédé une maçonnerie qui, en quelques heures, acquiert la dureté de la pierre et devient capable de résister à toutes les intempéries.

Au moyen de ce traitement, les bétons à l'état de pâte pulvérulente contiennent beaucoup moins d'eau que par les procédés ordinaires : aussi ils ne fuient pas sous le pilon, l'agglomération rapproche leurs molécules, les tasse, les serre, les feutre pour ainsi dire, de telle manière que, dans une capacité déterminée, il entre une quantité beaucoup plus grande de matériaux, d'où il résulte que les bétons agglomérés pèsent trois ou quatre cents kilos par mètre cube de plus que les bétons ou mortiers ordinaires.

Cette cause toute physique de la bonté des bétons agglomérés vient s'ajouter à l'action chimique qui résulte de l'absence d'un excès d'eau.

En effet, quand on obtient des bétons à l'état de pâte pulvérulente, ils contiennent peu d'eau; l'eau en excès par conséquent ne s'interpose pas entre les molécules de la chaux, qui alors, plus rapprochées d'elles-mêmes, au lieu de fournir, par la prise, une espèce de craie à demi cristallisée, donnent une prise énergique, intense, rapide, surexcitée, décuplée, centuplée par l'agglomération, à ce point que selon que l'on traitera les mêmes matériaux suivant les procédés ordinaires, ou par nos procédés, au bout de plusieurs années, et par les procédés ordinaires, on obtiendra des bétons qui à grand'-peine résisteront à un ou deux kilos par centimètre carré à l'arrachement, tandis qu'en quelques jours, par nos procédés, l'on réalisera une résistance qui atteindra celle des matériaux les plus durs. Cette résistance, dans certains cas, dépassera dix, vingt kilogrammes et plus par centimètre carré, la résistance à l'écrasement étant bien plus considérable encore, puisque par ce moyen on peut faire des pavés, des dalles, des chaussées à voiture.

Ce procédé présente à l'art de construire des avantages aussi nombreux qu'importants.

Le béton aggloméré coûte beaucoup moins cher que toute autre maçonnerie, soit parce que les matériaux qui le constituent, sables, chaux, terre cuite, ciments, se trouvent presque en tous lieux à bas prix et à pied d'œuvre, soit parce que pendant que les mortiers et bétons ordinaires exigent le tiers, la moitié de leur

volume de chaux ou de ciments, les bétons agglomérés, les meilleurs, les plus durs, n'exigent qu'un huitième, un dixième de chaux, un quinzième, un vingtième, un trentième de ciments, soit enfin parce que la mise en œuvre des bétons agglomérés, au lieu d'exiger l'intervention d'ouvriers d'art chèrement payés, sculpteurs, maçons, tailleurs de pierres, etc., ne demande que de la force fournie par de simples manouvriers.

A cet avantage précieux d'économie se joint la possibilité d'obtenir d'excellente maçonnerie avec les plus mauvais matériaux.

Ainsi il est certain que, par les procédés ordinaires, pour faire le moindre travail un peu soigné, il est nécessaire d'employer des sables de choix, très-purs et bien lavés, des chaux de premier ordre, les ciments les plus coûteux, et encore bien souvent les soins les plus assidus n'aboutissent qu'à l'insuccès; tandis que, par nos procédés et grâce à l'agglomération, tous les sables, fins ou grossiers, argileux ou purs; toutes les chaux, grasses ou hydrauliques; tous les ciments, coûteux ou non, donnent d'excellente maçonnerie, solide, résistante, inattaquable aux intempéries, et au moyen de laquelle il est possible de construire avec sécurité les bâtiments les plus élevés, sans avoir rien à redouter des tassements, des retraits, du sec, de l'humide ni des gelées.

Cela ne veut pas dire que par ce procédé tous les matériaux soient également bons et donnent des résultats identiques; non: avec du sable argileux et de la chaux grasse, on n'obtiendra pas des maçonneries aussi dures, aussi résistantes, à prise aussi rapide qu'avec les

ciments et les chaux de choix et des sables de bonne qualité ; mais néanmoins, avec les plus mauvais sables et les chaux les moins bonnes, on obtiendra encore de la maçonnerie beaucoup plus dure que les bons calcaires en usage à Paris, au moyen de laquelle on pourra construire les bâtiments les plus élevés.

Mais avec de bonnes chaux, de bons ciments et de bons sables, on obtiendra des bétons qui durciront avec une telle intensité, qu'en quelques jours ils n'auront plus rien à craindre des gelées, et qu'ils pourront être soumis sans danger à l'action des courants d'eau, et en outre ils acquerront une dureté telle que l'on arrivera à faire des trottoirs, des chaussées à voiture, par conséquent à remplacer l'asphalte, le macadam, les pavés, les dalles, etc. En un mot, on obtiendra la dureté, la densité que présentent les meilleures pierres naturelles.

Pour arriver à obtenir pratiquement et régulièrement cette pâte de pierres, en toutes saisons, en toutes circonstances, avec tous les matériaux, il a fallu huit ans de travaux assidus et faire des milliers d'essais ; il a fallu tout vérifier, tout reprendre à nouveau, aussi bien la théorie que la pratique des bétons et des mortiers.

Comme théorie, après être parti de celle qui est généralement admise et professée et qui attribue principalement la prise des mortiers et bétons à des réactions chimiques des éléments qui les composent ; après avoir pendant des années cherché à augmenter, à régulariser la prise par l'addition de tous les sels imaginables, de toutes les pouzzolanes, sans obtenir le moindre succès, nous avons dû enfin reconnaître que cette théorie

était insuffisante, et que la prise n'était pas seulement le résultat de réactions chimiques, mais qu'elle provenait bien plus encore d'un simple arrangement moléculaire, d'une cristallisation de la chaux [1].

Une fois que cette théorie a été bien démontrée pour nous, nous n'avons plus cessé de recueillir des succès invariables, et dès ce moment tous nos efforts n'ont plus tendu qu'à réaliser, toujours pratiquement, les conditions d'une bonne cristallisation.

Dans cette voie, nous avons pu reconnaître qu'une chaux étant donnée, la rapidité, l'intensité de la prise, la dureté, la résistance des bétons, étaient proportionnelles à leur état d'agglomération, à ce point que les meilleures chaux, employées par les procédés ordinaires ou mal agglomérées, donneront des bétons à prise lente, sans intensité, friables, gélifs, qui exigeront des années pour supporter un écrasement de quelques kilos par centimètre, tandis que par nos procédés, avec la plus mauvaise chaux, on obtiendra des bétons à prise rapide et énergique, lourds, compactes, imperméables et insensibles aux intempéries; quelques jours suffiront pour leur donner la dureté de la très-bonne pierre et pour offrir des résistances à l'écrasement de centaines de kilos par centimètre carré.

Comme pratique, il a fallu étudier toutes les chaux, tous les ciments, connaître les doses qu'il fallait employer de chacun d'eux; il a fallu rechercher les doses d'eau, les doses de matières pouzzolaniques et la qualité de chacune de ces matières.

(1) Il s'agit ici de la prise initiale, qui n'a rien de commun avec celle qui se produit à la longue par l'action de l'acide carbonique ou des incrustations de sels contenus dans les eaux souterraines.

Il a fallu expérimenter tous les sables; mais ce qui a été plus difficile, a été de trouver le mode de trituration le meilleur pour opérer le mélange intime de matières presque sèches, et de les amener néanmoins, par l'excès et la perfection du broyage, à un état de pâte pulvérulente, ou, selon les circonstances, de pâte plastique très-ferme, parfaitement homogène et propre à recevoir l'agglomération.

Ce n'était pas encore assez : il a fallu, pour opérer cette trituration dans des conditions d'économie et de pratique facile, créer des appareils spéciaux et appropriés qui, pour arriver à produire des résultats convenables et réguliers, ont exigé de grandes dépenses et des années de recherches.

Tant que ces expériences ont duré, tant qu'il est resté des points obscurs, tant que la perfection n'a point été obtenue, tant que, par exemple, nous n'avons pas eu réussi à faire des chaussées, nous avons poursuivi notre tâche sans appeler l'attention publique : c'est ce qui explique pourquoi, après avoir bâti la maison de garde de Vincennes par ordre de S. M. l'Empereur, la maison du chef de station de Suresnes par ordre de M. E. Flachat, ingénieur, après avoir fait la poulerie du Jardin d'acclimation par ordre de M. Geoffroy-Saint-Hilaire, et tant d'autres travaux, nous avons cru devoir attendre jusqu'à ce jour pour faire un appel décisif à la publicité.

Aujourd'hui le fait est certain, il ne reste plus aucun doute, le procédé est exploré dans son entier : non-seulement des constructions nombreuses et importantes ont déjà été élevées, des chaussées, des trottoirs, des

citernes, des toitures en forme de dôme, de coupole ou de terrasse ont été bâtis; des fosses d'aisances et un égout pour la ville de Paris, un réservoir et un arc de pont à l'École des ponts et chaussées ont été construits; par ordre de S. M. l'Empereur, des essais à la mer ont été faits à Saint-Jean-de-Luz; des dallages et massifs de machines pour la Capsulerie de la guerre et pour les manufactures des tabacs de Paris et de Châteauroux, des bassins en forme de vasque pour le Château de Vincennes ont été édifiés; enfin des sociétés sont déjà formées, en pleine activité, dans plusieurs départements.

Le moment est donc venu de provoquer l'attention des hommes de l'art et de leur signaler le parti qu'il est possible de tirer des procédés que nous avons mis en pratique.

Ces procédés sont d'autant plus dignes d'un examen attentif, que non-seulement l'emploi régulier et pratique des bétons agglomérés à la construction en élévation hors du sol de toute espèce de bâtiments est, on peut le dire, complétement nouveau, mais encore que cet emploi a provoqué des idées nouvelles, qui elles-mêmes, en dehors de la nouveauté des bétons, constituent des innovations de la plus haute importance : ainsi est-il des silos, des toitures et planchers, des travaux à la mer, des rues souterraines, des tubes à gaz et à eau conjugués avec les égouts, et bien d'autres encore.

Enfin, après tant d'efforts et de persévérance, et avec le concours intelligent et dévoué que nous avons reçu de M. Franchot, ingénieur, et de M. Paul, ancien élève de l'École centrale, tout cela est fini aujour-

d'hui ; la période d'incubation, si l'on peut se servir de cette expression, est close, les essais sont terminés dans tous les sens ; nous sommes enfin en possession d'un procédé complet, puissant, étudié dans tous ses détails ; au point où il en est arrivé, ce procédé, nous osons le dire, est la révolution dans l'art de construire.

Cette prétention d'apporter la révolution dans l'art de bâtir pourrait paraître une manifestation d'audace outrecuidante si elle n'était basée sur les faits les plus évidents ; mais depuis huit ans il a été assez bâti en grand par ce procédé, pour démontrer qu'une pareille affirmation peut être avancée, et qu'elle n'a rien que de vrai, de certain et de prouvé.

On en jugera, du reste, par la lecture qui va suivre du Mémoire que nous avons adressé à l'Académie des sciences, en nous portant candidat pour le prix Montyon, et par l'examen des applications nombreuses et importantes qui en sont déjà faites.

Cet examen prouvera péremptoirement que le procédé des bétons agglomérés a bien toute la portée que nous osons lui attribuer.

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

APPLIQUÉS A L'ART DE CONSTRUIRE.

MÉMOIRE

ADRESSÉ

A LA COMMISSION DES ARTS INSALUBRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

POUR CONCOURIR AU PRIX MONTYON.

PAR

FRANÇOIS COIGNET.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Par le présent mémoire nous venons appeler l'attention de l'Académie des sciences sur la théorie qui nous a guidé, et les procédés que nous avons mis en pratique et au moyen desquels nous sommes parvenu à obtenir, sous le nom de bétons agglomérés, par un simple mélange de sables et de chaux quelconques, une pâte de pierre susceptible d'être moulée et de recevoir par le moulage toutes les formes exigées par l'art, tout en ayant la propriété d'acquérir, en quelques jours à peine, la dureté et la résistance des meilleures pierres naturelles, et de résister d'une manière aussi complète, sinon beau-

coup plus qu'elles, à toutes les causes de destruction, à la sécheresse, aux gelées, aux pluies, à l'action dissolvante de l'eau de mer, aux courants d'eau, aux chocs et aux frottements.

Résultats précieux, hors de toute comparaison avec ceux qui proviennent de l'emploi des procédés ordinaires, et d'autant plus importants, qu'au moyen de cette pâte de pierre moulée, on peut obtenir en un seul bloc, à l'état monolithique, une construction quelconque, quelles qu'en soient la masse, l'étendue, la forme et la destination; avantage immense pour l'art de construire, et surtout pour les travaux d'hydraulique, qui, jusqu'à ce moment, ne peuvent être construits qu'au moyen de l'emploi de menus matériaux, pierres ou briques, dont les joints, toujours trop nombreux, se fendent, se dissolvent par les pluies, se désagrégent par les gelées, donnant ainsi passage aux tassements, aux infiltrations, au grand détriment de leur solidité et de leur durée;

Tandis que, par l'emploi des bétons agglomérés, préparés et mis en œuvre d'après les procédés sur lesquels nous osons appeler l'attention de l'Académie des sciences, les masses monolithiques, sans aucuns joints, que nous obtenons, parfaitement imperméables par elles-mêmes et insensibles aux gelées et à toutes les autres causes de destruction, ne donneraient jamais lieu ni à des tassements ni à des infiltrations, présentant ainsi des conditions de durée et de solidité inconnues par l'emploi des moyens ordinaires de construction.

Sans doute, après les travaux si justement célèbres de M. Vicat sur les causes de l'hydraulicité des chaux et des ciments, il peut paraître présomptueux d'appeler

votre attention sur la préparation et l'emploi des bétons, tant ce sujet semblait épuisé.

Toutefois, si l'on considère que, malgré les lumières et la certitude apportées par M. Vicat, les résultats obtenus par l'emploi des chaux et ciments sont encore tellement pleins d'irrégularité et d'incertitude que chaque jour les hommes de l'art les plus habiles rencontrent dans leurs travaux à la mer, ou même sur terre, de désastreuses déceptions, il demeure évident que la question n'a point été complétement élucidée, et que la découverte des lois de l'hydraulicité, tout en éclairant d'une vive lumière le champ de l'art de bâtir, a laissé dans l'ombre une cause d'obscurité et d'incertitude qui appelle encore l'attention de la science.

M. Vicat, par l'examen, l'analyse et la synthèse, puisqu'il a constitué directement de la chaux hydraulique en introduisant une certaine quantité d'argile dans de la chaux absolument grasse, a reconnu que la propriété qu'a la chaux de prendre sous l'eau dépend de la présence d'un silicate double de chaux et d'alumine que l'on produit ou obtient en soumettant la chaux qui en contient les éléments à une haute température.

Du moment que cette loi a été découverte, l'empirisme a disparu : par une simple analyse de laboratoire, on a pu reconnaître quelles étaient les chaux qui contenaient le plus de silicate double d'alumine et de chaux, et par conséquent qui avaient le plus d'hydraulicité ; bien plus, quand on se trouvait dans des contrées où la nature n'offre que des chaux grasses, on a pu, en y introduisant de l'argile avant la cuisson, préparer de toutes pièces d'excellente chaux hydraulique.

Si la dose d'argile introduite est plus considérable, si le mélange préalable de cette argile et de la chaux est bien intime, si la cuisson est portée à une assez haute température pour obtenir la plus grande quantité possible de silicate double de chaux et d'alumine, on obtient du ciment.

C'est sur ces principes qu'est basée la fabrication des chaux hydrauliques factices des Moulineaux et de Bougival, et des ciments si justement renommés de Portland.

Si, pour obtenir de bons bétons, il eût suffi de savoir reconnaître de bonne chaux, ou au besoin de savoir en fabriquer, nul doute que la théorie de M. Vicat n'eût complétement élucidé la question et n'eût rendu inutile le travail que nous osons vous présenter.

Mais, lorsqu'on emploie des bétons et lorsqu'on veut obtenir le maximum de solidité et de résistance qu'ils peuvent atteindre, il y a d'autres conditions que celles de l'hydraulicité qu'il faut observer et réaliser; car, si on ne les applique pas, c'est en vain que les hommes de l'art dépenseront toute leur intelligence, tous leurs soins, tout leur savoir; c'est en vain qu'ils emploieront la meilleure chaux et les meilleurs ciments; c'est en vain qu'ils introduiront dans les bétons des matières pouzzolaniques dans le but d'y ajouter une plus grande quantité de silicates doubles de chaux et d'alumine qui constituent les pouzzolanes : s'ils ne se soumettent pas aux autres lois qu'exige la prise des chaux et des ciments, ils n'obtiendront que des bétons de mauvaise qualité, à prise lente et sans énergie, légers, friables, spongieux, absorbants, gélifs; bétons incapables, exposés à l'air,

de résister aux intempéries et qui, dans ce cas, avec le temps, se gerceront, se fendront et se désagrégeront.

Le présent mémoire a pour but d'établir que la dureté, la résistance finale des bétons ne dépendent pas seulement de la bonté, de l'hydraulicité des chaux et ciments et des autres causes de durcissement qui agissent sur les bétons ordinaires, telles que la dessiccation, la carbonatisation de la chaux, c'est-à-dire la transformation qui se fait, à la longue, de la chaux vive en sous-carbonate de chaux au contact de l'acide carbonique de l'air, et qu'elles proviennent bien moins encore de certaines combinaisons chimiques qui se produiraient avec le temps entre les matériaux mêmes qui constituent ces bétons, pour former notamment des silicates doubles de chaux et d'alumine par voie humide, car il ne se produit aucune combinaison de ce genre, et ce qui le prouve, c'est que, lorsqu'on soumet à l'analyse des bétons dont on connaissait les éléments, même après les avoir conservés sous l'eau pendant de longues années, on n'y retrouve juste que la quantité de silicate double de chaux et d'alumine que contenaient les chaux hydrauliques et les ciments que l'on avait employés; et si l'on n'a employé que de la chaux absolument grasse, on n'y retrouve aucune trace de silicate double ; mais que cette bonté, cette résistance finale des bétons peuvent avoir d'autres causes importantes et énergiques qui, jusqu'à présent, ont échappé à l'observation et sur lesquelles nous venons appeler l'attention de l'Académie des sciences.

Avant de procéder à l'examen de ces causes nouvelles de durcissement des bétons, causes dont nous

avons pu constater l'existence et l'influence décisive par les expériences multipliées auxquelles nous nous sommes livré, et par notre longue pratique, nous devons préalablement jeter un coup d'œil sur les causes actuellement connues de la dureté finale des bétons et des mortiers.

La prise intégrale des bétons ordinaires, en supposant les meilleures conditions possibles, se compose de quatre phénomènes successifs n'ayant pour origine aucune combinaison chimique postérieure des matériaux des bétons entre eux.

Ces phénomènes successifs sont :

1° La cristallisation propre des chaux et des ciments, ou, si l'on aime mieux, l'arrangement moléculaire en vertu duquel la chaux hydraulique et les ciments durcissent même sous l'eau, durcissement presque instantané avec certains ciments ; ce durcissement, cette cristallisation étant d'autant plus intense, toutes circonstances gardées, que les chaux et ciments contiennent plus de silicates doubles de chaux et d'alumine à l'état de combinaison obtenue par le feu.

Cette prise initiale, tout à fait dépendante de la qualité des chaux et des ciments, est un simple effet physique d'arrangement moléculaire, de cristallisation.

Si cette cristallisation des chaux et des ciments était la seule cause du durcissement des bétons, il est clair qu'au lieu de durcir comme ils font pendant des années et même des siècles, les bétons arriveraient à leur maximum de dureté au bout de quelques jours ou de quelques semaines, ce qui n'est pas.

2° La dessiccation des bétons, lorsqu'il s'agit de bétons qui ne sont pas constamment sous l'eau.

Il se produit sur les bétons le même effet que sur la plupart des corps, de l'argile, par exemple, qui, par la dessiccation, devient très-compacte et très-dure; par la même cause, les bétons, s'ils sont bien préparés, sont beaucoup plus durs, beaucoup plus résistants quand ils sont secs que quand ils sont humides.

3° La carbonatisation.

Sous le nom de carbonatisation, nous comprenons la transformation lente de la chaux vive contenue dans les bétons en carbonate de chaux, par le fait de l'absorption de l'acide carbonique de l'air, lorsque les bétons se trouvent exposés à la pluie, toujours saturée d'acide carbonique, ou même simplement à l'humidité.

Il est facile de concevoir à quel point la carbonatisation joue un rôle important dans le durcissement des bétons, quand on sait que la chaux vive absorbe, pour se transformer en carbonate, un poids d'acide carbonique à peu près égal au sien.

Par conséquent, si un mètre cube de bétons contient deux ou trois cents kilos de chaux vive, il absorbera, il s'assimilera deux ou trois cents kilos d'acide carbonique, addition qui ne peut avoir lieu sans augmenter énormément la densité, la compacité des bétons; et de fait, soit augmentation de densité, soit nouvel arrangement moléculaire sous l'influence de l'acide carbonique, et par la transformation de la chaux vive en carbonate de chaux, toujours est-il que les plus médiocres bétons, pourvu qu'ils ne soient pas exposés aux intempéries, acquièrent à la longue, de ce chef, une densité

infiniment plus grande que celle qu'ils avaient au début par le seul fait de la prise, c'est-à-dire de la cristallisation de la chaux.

4° Enfin l'incrustation.

Les bétons durcissent encore par le fait des incrustations qui se produisent dans leur masse même, par absorption, lorsqu'ils sont soumis au contact de certaines solutions salines. Ainsi, par exemple, quand un béton se trouvera au contact de bicarbonates alcalins, il se transformera lui-même en carbonate de chaux ; ou bien, s'il se trouve au contact d'une solution de bicarbonate de chaux, la chaux du béton décomposera ce bicarbonate, se combinera avec une partie de l'acide carbonique en même temps que le sous-carbonate de chaux provenant de cette décomposition se déposera à l'état naissant dans les pores du béton, dont la densité, la dureté seront augmentées tout à la fois et par la transformation de la chaux du béton en carbonate de chaux, et par le dépôt à l'état naissant du carbonate de chaux produit par la décomposition du bicarbonate au contact de la chaux du béton.

Mais, pour que ces quatre causes de durcissement opèrent leur effet sur les bétons ordinaires, il faut que ces bétons aient été obtenus, ainsi que nous l'avons dit, dans de bonnes conditions, c'est-à-dire que la prise première, la cristallisation initiale des chaux, soit assez complète au début pour donner un béton assez ferme, assez dur, assez résistant pour, si on l'emploie à élever des maçonneries exposées à l'air, pouvoir se dessécher sans tomber spontanément en poudre, pour ne pas se dissoudre au contact des eaux pluviales, pour braver les

gelées et l'ardeur du soleil; car, s'il en était autrement, on conçoit qu'à défaut de résistance, ces bétons se désagrégeraient et que la dessiccation, la carbonatisation, l'incrustation n'auraient pas à s'exercer sur un béton qui ne pourrait se conserver.

Malheureusement, dans la pratique actuelle, surtout en ce qui concerne les bétons à base de chaux, presque jamais l'on n'obtient de béton ayant une prise initiale suffisante pour subir impunément l'exposition aux injures du temps; presque toujours, sinon toujours, cette prise est si peu énergique, que la simple dessiccation suffit pour en amener la destruction.

Quand, au contraire, et de loin en loin, on obtient des bétons de bonne prise et de résistance suffisante pour se dessécher sans se désagréger, alors à la suite avec le temps se produisent nécessairement les effets de la carbonatisation et de l'incrustation, effets puissants et qui expliquent pourquoi certains bétons exposés à l'air ou enfouis dans le sol, au contact des eaux souterraines, acquièrent quelquefois des duretés prodigieuses qui, attribuées, à défaut d'un examen suffisamment attentif, à la seule prise initiale moléculaire des chaux, a conduit trop souvent à tort les praticiens à supposer que ceux qui avaient confectionné des bétons aussi durs possédaient des secrets aujourd'hui perdus, opinion à notre sens tout à fait erronée.

C'est justement ce qui s'est passé à propos des vestiges laissés par les Romains; on trouve aujourd'hui, après deux mille ans, des aqueducs, des massifs très-épais, des bétonnages enfouis sous le sol, dans les emplacements où existaient d'anciens bains thermaux; ces restes ont en

général une dureté et une densité merveilleuses qui fait encore tout à la fois l'envie et le désespoir des hommes de l'art qui, ne pouvant les reproduire, supposent que les Romains étaient en possession d'un secret que toute la science de notre siècle n'a pas encore retrouvé.

Nous croyons qu'à l'égard des bétons romains il existe un préjugé invétéré tout à fait en dehors de la vérité.

Si les Romains avaient possédé un secret pour obtenir en peu de temps des bétons aussi durs et compactes que ceux qui nous restent, il est permis de croire qu'ils ne l'auraient pas employé uniquement à des murailles de plusieurs mètres d'épaisseur et seulement aux grands monuments publics, ou bien à faire des bétonnages hydrauliques mais souterrains; surtout s'ils avaient été en possession d'un pareil secret, ils n'auraient pas toujours été obligés de ne faire des massifs de béton qu'à la condition de les recouvrir extérieurement d'un parement de pierres ou de briques; l'idée leur fût sans aucun doute venue de supprimer, dans des cas nombreux, tout parement étranger au béton lui-même, dont les surfaces extérieures, recevant directement du moule la forme voulue, auraient en réalité formé parement.

Or, après avoir visité attentivement les thermes à Paris, les aqueducs et thermes de Lyon, les antiquités d'Orange, Nîmes, Arles et Rome, nous n'avons trouvé nulle part aucuns vestiges de constructions sans parements de pierres, nulle part un mur mince qui indiquât la possession complète de l'art de bâtir au moyen des bétons: partout nous n'avons trouvé que des massifs énormes de plusieurs mètres d'épaisseur toujours recouverts de leur parement, ou du moins présentant en-

core des traces évidentes de leur existence dans l'origine; bien plus, dans la plupart des cas, nous n'avons pas trouvé de véritable béton, mais ordinairement des blocs de pierrailles ou des fragments de briques jetés à bain de mortier.

Si les Romains avaient su élever à l'air des constructions de bétons moulés, d'une dureté assez grande et assez prompte pour se passer de parements, nous en eussions trouvé la preuve dans les ruines de Pompéia et d'Herculanum, si merveilleusement conservées par les cendres et la lave du Vésuve, et où, malgré toutes nos investigations, nous n'en avons trouvé aucuns vestiges.

Donc les Romains ne bâtissaient pas avec des bétons proprement dits, et ils n'obtenaient pas une dureté assez prompte et assez énergique pour se passer de parements.

Si les Romains ont eu un secret, il a dû être tout entier dans leur mépris de la vie humaine; ayant à leur service des armées d'esclaves, ils ont pu leur faire broyer le béton dans des conditions de fermeté qui devait promptement épuiser leurs forces et leur vie. Cet élément d'un bon béton (le gâchage ferme), malgré ses conséquences funestes, pouvait être obtenu aux dépens de la vie humaine quand il s'agissait d'esclaves; mais il est impossible de l'obtenir aujourd'hui que la vie de l'homme est plus respectée.

Nous devons pourtant faire une exception pour les enduits d'aqueducs ou de murs, que les Romains obtenaient à l'état de grande dureté et de parfaite imperméabilité, mais encore dans ce cas ils n'obtenaient pas ces résultats au moyen du secret, aujourd'hui perdu, de la manière de préparer les chaux; ils l'obtenaient par un

simple tour de main dont la pratique s'est encore conservée.

Lorsqu'on applique sur une maçonnerie quelconque un enduit de chaux, si, pendant toute la durée de la prise et pendant que le mortier est encore mou, on passe et repasse la truelle en appuyant fortement avec compression, à dix, à quinze, à vingt reprises différentes, on obtiendra par ce moyen un enduit de chaux imperméable, dur et lisse comme du marbre poli, quelle que soit du reste la chaux employée ; ce procédé est encore en usage en Italie, il est le secret des stucs si renommés de ce pays.

A Rome, où le sable manque, où du moins il n'est pas employé et où il est remplacé par d'excellente pouzzolane naturelle, nous avons vu faire par ce moyen des enduits d'une dureté parfaite avec un mortier composé de chaux et de pouzzolane, tandis que le même mortier employé aux jointages des pierres ou des briques se dissout rapidement, complétement, soit par l'action des eaux, soit par celle des gelées (ce qui, soit dit en passant, démontre péremptoirement que la bonté des mortiers ne provient pas de la présence de la pouzzolane, ce que nous démontrerons plus loin).

Quoi qu'il en soit, ce durcissement à la truelle par compression exige trop de temps, trop de main-d'œuvre pour pouvoir être employé de nos jours où le travail reçoit des salaires trop élevés et où l'activité fébrile oblige à une rapide exécution ; ce procédé n'est praticable que dans les pays où la main-d'œuvre est à très-bas prix.

Quant à la dureté des vestiges romains, elle est facile à expliquer par l'application des lois ordinaires de durcissement que nous avons signalées plus haut.

En effet, en ce qui concerne leurs constructions en élévation au-dessus du sol, il n'est pas impossible que les Romains aient eu quelque connaissance de certains des caractères apparents des chaux hydrauliques à prise intense, et que dans leur pratique ils aient constaté le rôle important de la fermeté des bétons, de l'élimination de tout excès d'eau, ce qui serait confirmé par leur usage d'introduire dans leurs maçonneries, à bain de mortier, des corps absorbants, tels que fragments de briques et de tuileaux.

Mais que les Romains aient eu ou non une certaine connaissance des qualités de chaux et des effets de l'élimination de l'eau, il n'en est pas moins vrai que leurs maçonneries de blocailles étaient toujours recouvertes d'un parement composé de matières étrangères au béton; de telle sorte que ces constructions ayant un parement de pierres ou de briques qui les mettaient à l'abri des intempéries, la dureté, la solidité du massif intérieur ainsi mis au début à l'abri de toute cause directe de destruction, et en outre des effets de la prise initiale, de la cristallisation des chaux, ont pu s'augmenter à la longue par la dessiccation et aussi par la carbonatisation s'opérant peu à peu au travers des parements, par les infiltrations d'eaux pluviales, ou par l'absorption de l'humidité constante de l'air.

Ensuite, lorsque, plus tard, par les outrages du temps ou des Barbares, les parements ont été renversés, le massif intérieur, complétement desséché et déjà en partie carbonaté, a pu résister aux effets des intempéries; d'autant plus qu'au contact des pluies ou de l'humidité atmosphérique, leur carbonatisation a pu s'achever, et par conséquent augmenter leur dureté.

Ils ont pu, même à l'air, obtenir une certaine incrustation; en effet, après la destruction des parements, les pluies saturées d'acide carbonique, tombant sur une surface perméable de béton déjà carbonaté, ont dû dissoudre une partie de ce carbonate pour fournir un bicarbonate de chaux soluble, dont la solution, pénétrant plus avant dans le massif de béton et y trouvant de la chaux non encore carbonatée, a dû, conformément à ce que nous avons dit précédemment, subir une nouvelle transformation et former dans le béton un dépôt de sous-carbonate de chaux qui, à son tour, opérant un effet d'incrustation, a dû rendre ce béton intérieur parfaitement imperméable, alors même qu'au début la masse entière ne l'aurait pas été, de telle sorte que les eaux pluviales ne pouvant plus le pénétrer n'ont pu que couler à sa surface et désormais ont dû cesser d'exercer dans l'intérieur des massifs privés de parements aucune espèce d'action.

Une fois arrivé à ce degré d'imperméabilité par incrustation obtenue au moyen de la dissolution des premières couches extérieures par l'acide carbonique de l'air, une maçonnerie de bétons pouvant devenir inattaquable par les intempéries, sa durée peut être éternelle, et c'est sans doute l'effet qui s'est produit pour les restes de maçonneries romaines qui existent encore.

Quant aux vestiges souterrains, deux mille ans d'existence sont plus que suffisants pour permettre une carbonatisation et une incrustation complètes obtenues aux dépens des courants d'eaux souterraines, et donner la prodigieuse dureté et la compacité que l'on trouve quelquefois dans les bétons romains.

D'où il résulte que nos constructeurs actuels sont trop

modestes et qu'il y a lieu de croire que lorsque dans des cas rares on obtient actuellement de bons bétons, si l'on en faisait des massifs ayant plusieurs mètres d'épaisseur, si on les recouvrait d'un parement en pierres ou en briques, on serait peut-être fort étonné, si on pouvait les examiner deux mille ans après, de les trouver aussi durs que les massifs romains.

Malheureusement il est rare, bien rare, que l'on obtienne, par les procédés actuels, des bétons assez bons pour supporter la dessiccation, ou même, une fois desséchés, pour résister aux pluies, aux gelées, à la sécheresse; car, quand même on aurait obtenu une prise suffisante pour arriver jusqu'à la carbonatisation, cette carbonatisation elle-même ne suffirait pas pour assurer la durée des bétons qui, par suite d'une prise initiale de médiocre énergie, demeurant légers, poreux, absorbants, se laisseraient pénétrer par l'eau, si bien qu'à la première gelée, malgré une dessiccation et une carbonatisation préalables, tout disparaîtrait.

A défaut de gelée, ils seraient, avec le temps, dissous par les pluies, conformément au phénomène que nous avons indiqué plus haut; l'eau de pluie, chargée d'acide carbonique, les pénétrerait, les traverserait comme un crible; l'acide carbonique, trouvant une chaux friable, divisée, se combinerait avec elle pour former des bicarbonates de chaux solubles, lesquels seraient entraînés par les pluies au travers des bétons, jusqu'à ce qu'enfin toute la chaux étant dissoute le béton serait détruit.

Telle est l'origine de ces stalactites que l'on trouve sous les ponts, sous les voûtes exposées aux eaux plu-

viales, et qui proviennent des mortiers dissous par l'acide carbonique de l'air.

Il est donc de toute nécessité, pour que des bétons exposés à l'air puissent acquérir, par le desséchement, la carbonatisation et l'incrustation, une grande dureté, une grande compacité et la faculté de résister aux intempéries, à la pluie, à la chaleur, aux plus rudes gelées, que la prise initiale moléculaire soit très-énergique.

Malheureusement, par les procédés mis en usage jusqu'à ce jour, l'on n'obtient presque jamais une bonne prise initiale; c'est en vain que l'on emploie les meilleures chaux, les meilleurs ciments; c'est en vain que l'on apporte les plus grands soins à la confection, que l'on se conforme absolument aux prescriptions de la théorie Vicat et des procédés enseignés; en vain que l'on introduit des pouzzolanes : tous les efforts échouent, et l'on finit par n'obtenir que des bétons légers, friables, poreux, gélifs, incapables par conséquent d'être exposés aux intempéries et de subir la moindre atteinte du choc ou du frottement.

Aussi, encore aujourd'hui, les constructeurs se sont-ils résignés à n'employer les bétons que sous l'eau ou sous la surface du sol : au moins dans ce cas ils n'ont rien à craindre ni de la sécheresse, ni des gelées.

Et pourtant quel est l'ingénieur, quel est l'architecte qui, l'œil fixé sur les vestiges romains, n'ait entrevu dans ses aspirations, dans ses rêves, un moyen d'obtenir par l'emploi des bétons, de la pâte de pierre susceptible d'être moulée sur place, et de donner, par le monolithisme, des puissances encore inconnues pour la construction des voûtes, des ponts, pour les hardiesses de tous genres?

Un moment, lors de la découverte des ciments et de l'apparition de la théorie de M. Vicat, on a cru le problème résolu, et des essais nombreux ont témoigné de l'intensité des espérances.

Les résultats n'ont pas répondu à l'attente. M. Vicat avait bien trouvé la loi de l'hydraulicité, mais il n'avait pas donné la loi de l'emploi : aussi toutes les tentatives de construction à l'air en béton de chaux n'ont pu donner de maçonnerie résistante aux intempéries.

Quant aux ciments, ils ont donné une maçonnerie plus dure, plus résistante, il est vrai; mais cette maçonnerie travaille, comme on dit; elle se fend à l'air, et à la longue les intempéries finissent par la détruire.

Aussi les tentatives ne se sont plus renouvelées, et les constructeurs ont dû retourner à l'emploi des anciens matériaux, à la pierre et à la brique.

Et pourtant de temps à autre quelques essais mieux réussis, des blocs de maçonnerie durable en béton de chaux ou de ciments, témoignent qu'il n'est point impossible d'obtenir des bétons aussi résistants que la meilleure pierre : des fragments du moyen âge, aussi intacts aujourd'hui que le premier jour, le confirment; et de nos jours des essais heureux (1), mais exécutés, il est vrai, sous l'œil du maître et par ses mains, en donnent la certitude, on peut obtenir des bétons résistants; mais comme la loi de cette résistance n'est pas encore généralement connue, il se trouve que les succès obtenus sont

(1) Quand nous parlons d'essais heureux, nous avons en vue les constructions actuellement faites en bétons ordinaires, en Suède et aux États-Unis, et surtout les essais tentés vers 1830 par M. Lebrun, architecte à Montauban, et décédé depuis assez longtemps.

Mais ces essais, accomplis avec des bétons ordinaires, sont plutôt le témoi-

dus au hasard qui a donné un ensemble de circonstances heureuses.

Il existe donc, en l'état actuel de l'art de construire, une cause cachée, permanente et ordinaire qui s'oppose à ce que, malgré tous les soins, on obtienne toujours, facilement, de bons bétons; cette cause est fort simple, et c'est justement cette simplicité qui l'a fait échapper jusqu'ici aux investigations de la science.

Les bétons actuels contiennent toujours trop d'eau, puisqu'on ne les emploie qu'à l'état de bouillie presque liquide; or, cet excès d'eau est la cause de tout le mal; chimiquement, elle s'interpose entre les molécules de la chaux, elle les tient éloignées, par conséquent elle en empêche la prise, la cristallisation; physiquement, elle se sépare de la chaux au moindre mouvement que l'on imprime aux bétons; elle coule, elle lave la chaux, qu'elle délaye, dissout, et qui devient incristallisable; elle remplit les vides et rend le béton incompressible et incapable de s'agglomérer; puis, lorsque le béton, s'il doit demeurer à l'air, se dessèche, cette eau, en s'évaporant, laisse des vides innombrables; finalement l'on n'obtient, même avec les meilleures chaux, que des bétons légers, friables, absorbants et gélifs, puisque les vides laissés par l'eau se remplissent au contact des pluies, d'où résulte une complète désagrégation à la moindre gelée.

gnage d'une aspiration, d'un désir, d'une espérance, qu'une solution du problème de l'art de construire en élévation, au moyen des bétons moulés.

En effet, les constructions dont il est ici question ont été faites au moyen de bétons coulés dans des moules, mais non sérieusement agglomérés, ce que prouve du reste leur manque de résistance aux intempéries.

Les praticiens qui ont fait ces tentatives avaient bien entrevu l'importance du problème; mais les moyens matériels, et peut-être une théorie bien nette, leur ont manqué pour faire passer leur conception dans les faits.

Cet excès d'eau, inévitable dans les procédés en usage, provient de la nécessité où l'on se trouve, en l'absence encore complète de machines puissantes et convenablement appropriées, de se servir du bras de l'homme pour opérer le broyage des mortiers et des bétons : or, la force humaine est radicalement insuffisante pour opérer le broyage d'un béton qui n'aurait que la quantité d'eau strictement indispensable; et par le bras seul de l'homme la perte de temps et la dépense seraient telles, que l'idée même de s'en servir pour obtenir des bétons privés de tout excès d'eau, depuis tant de milliers d'années que l'on emploie la chaux, n'a pu même se présenter à l'esprit des constructeurs.

Voilà pourquoi l'art de construire au moyen des bétons est demeuré dans l'enfance.

Toujours est-il que, par suite d'observations insuffisantes, de préjugés généralement répandus, et en l'absence des procédés et des conditions dont nous allons parler plus loin, les bétons, tels qu'on les obtient aujourd'hui par les moyens ordinaires, ont une prise sans énergie; ils sont incapables de résister aux intempéries, et, s'ils prennent, leur prise n'a d'autre cause que la bonté même de la chaux, à ce point que l'on peut admettre, comme loi des bétons ordinaires, que leur bonté ne provient exclusivement que de la bonté même de la chaux, et qu'aucune autre cause n'y intervient.

Par les procédés sur lesquels nous osons appeler l'attention de l'Académie, la bonté des chaux, quoique nous n'entendions pas en nier l'influence d'une manière absolue, est la moindre des causes de la bonté finale des bétons, à ce point que, sauf peut-être pour les chaussées

qui exigent le concours de toutes les causes, même les plus minimes de solidité finale, toutes les chaux sont également bonnes pour tous les emplois ; toutes les chaux hydrauliques, par exemple, résisteront à la mer ; toutes pourront, avec un égal succès, être employées dans les travaux d'hydraulique, dans la construction de toute maçonnerie en élévation hors du sol, et même dans la confection des trottoirs. La chaux grasse elle-même donnera d'excellente maçonnerie, pourvu qu'elle demeure exposée quelques jours à l'air.

Une égalité presque absolue règne, par nos procédés, entre toutes les chaux; les moins renommées sont, à peu de chose près, égales à celles qui ont le plus de réputation.

Avec de la chaux d'Argenteuil ou de Belleville, à Paris, on peut obtenir presque d'aussi bons trottoirs qu'avec celle d'Échoisy ou même la chaux du Theil.

La seule différence pour ainsi dire qu'il nous ait été donné de remarquer entre elles, est que certaines chaux acquièrent une dureté donnée, quelques heures plus tôt que certaines autres; mais bientôt les chaux retardataires atteignent la dureté des chaux les plus hâtives, et en peu de temps il devient presque impossible de trouver la moindre différence entre elles.

Et encore nous ne sommes pas certain que les différences presque insensibles que nous avons pu observer, au lieu de tenir au plus ou moins de bonté des chaux, ne dépendent pas beaucoup plus d'un plus ou moins bon emploi de nos procédés et de tours de main plus ou moins bien réussis.

La bonté des chaux qui, par les procédés ordinaires, est

la seule cause de la bonté des bétons, est en effet, vis-à-vis des autres causes de durcissement qui résultent de nos procédés, tellement insignifiante, que même avec la meilleure chaux, pour peu que la préparation des bétons laisse la moindre des choses à désirer, les bétons obtenus seront moins bons, leur prise sera moins rapide, moins intense que celle de ceux qui, préparés dans de bonnes conditions, auront pour base la plus mauvaise chaux.

Les véritables causes de la bonté finale des bétons, ces causes assez puissantes pour effacer, pour rendre insignifiante la seule base sur laquelle s'appuie aujourd'hui l'art de construire au moyen des mortiers et béton, à savoir la bonne qualité des chaux; ces causes qui, une chaux étant donnée, produisent en quelques jours une intensité de prise que les procédés ordinaires seraient bien loin de donner, même après plusieurs années; ces causes qui, même avec les plus mauvaises chaux, donnent une maçonnerie dense, compacte, imperméable et absolument résistante aux gelées, aux courants d'eau, à l'action chimique de l'eau de mer, aux chocs et aux frottements, tandis que les procédés actuels, même avec les chaux les meilleures, ne donnent que des bétons légers, poreux, friables, gélifs, solubles dans l'eau de mer, et incapables de résister aux courants d'eau, aux frottements et aux chocs; ces causes qui décuplent, qui centuplent peut-être la résistance des bétons, peuvent se formuler ainsi:

La bonté finale des bétons, au lieu d'être proportionnelle seulement à la bonté des chaux comme dans les procédés ordinaires, est proportionnelle :

1° A l'élimination de tout excès d'eau dans les bétons,

excès qui existe toujours par les procédés usuels; et à leur fermeté au moment de l'agglomération;

2° A l'homogénéité de la masse des bétons, au mélange intime de leurs matières, à la perfection et à l'énergie de leur broyage, au moyen desquels, malgré l'élimination de tout excès d'eau, on doit obtenir des bétons à l'état de pâte pulvérulente ou de pâte plastique selon les cas, tandis que, par les procédés ordinaires, on ne les obtient qu'à l'état de bouillie liquide;

3° A l'énergie et à la perfection de l'agglomération exercée sur ces bétons par le choc répété d'un corps dur et pesant.

En effet, par l'élimination de l'eau en excès, les molécules de la chaux n'étant plus tenues éloignées les unes des autres par l'interposition de l'eau, ainsi qu'il arrive toujours dans les bétons ordinaires, étant au contraire aussi rapprochées que possible, cristalliseront avec une promptitude et une énergie d'autant plus grandes que l'élimination sera plus complète.

Tout excès d'eau étant éliminé, il ne restera dans le béton que la quantité d'eau nécessaire à la cristallisation de la chaux, qui, en se produisant, fixera cette eau, la solidifiera, de manière que plus tard l'évaporation considérable qui se produit dans les bétons ordinaires n'ayant pas lieu, il ne restera pas ces vides innombrables qui, avec la meilleure chaux, ne donnent que des bétons légers, absorbants, poreux, gélifs et solubles.

L'absence de tout excès d'eau permettra en outre d'obtenir une fermeté beaucoup plus grande, de telle sorte qu'au lieu de couler, de fuir sous le pilon, les bétons se serreront sous le choc, se tasseront, jusqu'à ce

point d'acquérir immédiatement par la simple cohésion, même avant toute prise, une dureté que les bétons ordinaires n'acquerraient que longtemps après.

Si par la seule élimination de l'eau on obtient des bétons aussi durs par le simple tassement et avant qu'aucune prise ait commencé, on conçoit que la promptitude et l'intensité de la prise acquerront d'incroyables proportions lorsque la prise aura lieu, lorsque se produira la cristallisation de la chaux.

A plus forte raison peut-on concevoir que la dureté de ces bétons deviendra excessive, prodigieuse, lorsqu'ils seront soumis à la dessiccation, à la carbonatisation, à l'incrustation, sur les effets desquelles nous aurons à revenir.

Mais plus l'eau sera soigneusement éliminée, plus il deviendra nécessaire, par un broyage parfait, énergique, d'opérer le mélange intime des matières; car, si cette intimité n'existait pas, si le béton n'était pas parfaitement homogène, au lieu, par le broyage, de passer à l'état de pâte plastique ou pulvérulente, il tomberait en un état de poudre sèche non agglomérable; cette poudre fuirait sous le choc, le béton ne serait pas agglutiné, et alors, en se desséchant, au lieu de durcir, il deviendrait friable, absorbant, gélif, perméable, soluble; il se désagrégerait au moindre choc, au moindre frottement.

Un béton mal broyé, sans homogénéité, serait encore plus mauvais que les bétons ordinaires.

Quant à l'agglomération, toutes les fois qu'elle s'exercera sur des bétons sans excès d'eau, bien fermes, mais néanmoins bien homogènes, bien liants, en un mot à l'état de pâte plastique, elle donnera un béton où il

n'existera plus de vides, et dont la densité sera bien plus grande que celle des bétons ordinaires.

L'agglomération contribuera encore à rapprocher les molécules de la chaux, et en facilitera ainsi énormément la cristallisation, en même temps que physiquement elle rapprochera les matières du béton, elle leur fera occuper un moindre volume, de telle sorte, par exemple, qu'un mètre cube de béton bien préparé et bien aggloméré pèsera trois, quatre, cinq cents kilos de plus qu'un béton ordinaire.

Cette action toute physique de l'agglomération joue le plus grand rôle dans la prise immédiate et dans la bonté finale des bétons, puisqu'elle vient s'ajouter encore à toutes les autres conditions qui, par les procédés que nous avons mis en usage, viennent concourir à produire la prise et la dureté finales.

Ces diverses conditions ne sont point aussi faciles à réaliser qu'on pourrait le supposer.

L'élimination de l'excès d'eau, la trituration parfaite, l'agglomération ont exigé des recherches longues et multipliées pour obtenir les procédés nécessaires, pour créer les machines les plus parfaites, et ce n'est qu'après de longs efforts que nous sommes enfin parvenu à résoudre toutes les conditions du problème.

Mais, avant d'aborder la description des moyens que nous avons dû employer, nous croyons utile d'indiquer en quelques mots la voie qui nous a conduit à la constatation complète, irréfutable de la théorie que nous venons d'émettre et à la pratique qui en a été la conséquence.

Appelé en 1853 à construire à Saint-Denis une vaste

manufacture, pour le compte de la maison Coignet père et fils et C^ie^, dont nous sommes l'un des gérants, il fut décidé que cette construction serait faite par un moyen généralement répandu à Lyon, et que des premiers, sinon les premiers, il y a vingt ans, nous avons mis en usage.

Ce procédé consiste à opérer, à bras d'homme, un mélange de cendres et scories de houille et de chaux, à verser par couches minces le béton ainsi obtenu dans un moule établi sur le mur même, et à le pilonner, l'agglomérer par le choc répété d'un corps dur et pesant, jusqu'à ce que le moule soit plein; aussitôt le moule plein, on le démonte, on le pousse plus loin et on le remplit de nouveau.

Ainsi qu'on le voit, ce sont les procédés usités pour le pisé de terre appliqués à une espèce de bétons.

Ce genre de construction est plus solide que la pierre, car ce béton acquiert promptement une grande dureté; il résiste parfaitement à toutes les intempéries et même aux courants d'eau, et de plus il donne une maçonnerie à l'état monolithique, bien supérieure en solidité aux meilleures maçonneries de moellons, composées de menus fragments, toujours hors d'aplomb, et laissant toujours entre eux des parties vides.

Ayant à Saint-Denis substitué pour la première fois la machine aux bras de l'homme, nous obtînmes un béton beaucoup mieux broyé, beaucoup plus homogène, à prise beaucoup plus énergique; ce qui nous enhardit à supprimer les voûtes en pierre, les murs de soubassement, les baies de portes et fenêtres qui, à Lyon, sont encore en pierres de taille ou en moellons, tandis qu'à

Saint-Denis, voûtes, soubassements, baies de portes et fenêtres, escaliers et plates-bandes, tout est en béton moulé sur place, sans aucuns linteaux, ancrages ni chaînage.

Mais bientôt, vu l'importance de ces constructions, les cendres de houille firent défaut, et pour les continuer il fallut ou revenir au mur de moellon, ou trouver un moyen de faire des bétons dans lesquels la cendre de houille fut remplacée par un autre corps.

L'amour-propre interdisait d'avoir recours à la maçonnerie ordinaire; il fut décidé que l'on essayerait de faire du béton avec d'autres matières que les cendres.

Le sable seul pouvait être substitué à la cendre; mais, avec l'emploi du sable, arrivèrent toutes les difficultés qui en accompagnent l'emploi, difficultés si grandes que, bien que l'usage des mortiers et des bétons remonte à l'origine des temps, on ne les avait point encore vaincues.

Naturellement, au début, le sable fut purement et simplement substitué à la cendre, et le travail essayé dans les mêmes conditions; mais l'échec le plus complet accueillit cette tentative; en effet, les cendres et scories de houille sont un corps aiguillé, spongieux, rempli d'aspérités à l'infini, lequel, malgré la présence d'un excès de chaux ou d'un excès d'eau, peut s'écraser sous le pilon, se tasser, s'enchevêtrer de manière à produire quand même une liaison suffisante, et à former une masse assez ferme pour ne pas se déformer ni s'écrouler au démoulage.

Le sable, au contraire, est composé de petits fragments de silex roulés, sans liaison entre eux, n'ayant

pas, comme les cendres, la faculté d'absorber, de s'écraser, de s'enchevêtrer : aussi, par un simple mélange de sable et de chaux, n'obtenait-on qu'un béton beaucoup trop mou, qui, au lieu de s'agglomérer, fuyait sous le pilon, dont l'eau se séparait en délayant les surfaces, et qui, sans liaison et sans soutien, s'écroulait au démoulage.

Croyant alors, à cette époque, conformément à l'opinion généralement admise, que la composition chimique des cendres de houille était la cause de la bonté des bétons de cendres, en donnant lieu à la formation de silicates doubles, nous demandâmes le secret, pour l'emploi du béton de sable, à l'introduction de matières que nous croyions propres, comme les cendres, à exercer une action chimique.

Mais c'est en vain que, cherchant toujours la formation de ces silicates doubles qui seraient la cause de la prise des bétons, nous eûmes recours aux pouzzolanes naturelles les meilleures, aux briques pilées, aux oxydes de fer, aux alcalis.

Tout fut essayé en vain : les bétons de sable, malgré cette introduction de matières, demeuraient tout aussi mauvais.

Toutefois, certains faits vinrent nous mettre sur la voie de la vérité : de temps à autre, de loin en loin, sans que nous pussions alors nous en rendre compte, nous obtenions des parties de maçonnerie ferme, facilement agglomérable, ne se déformant pas au démoulage, et acquérant ensuite rapidement une dureté supérieure à celle du béton de cendres.

Ces succès inattendus, que nous ne pouvions repro-

duire à volonté et d'une manière régulière, puisque la cause véritable nous en échappait complétement, venaient néanmoins de temps à autre ranimer nos espérances quand nous cédions au découragement, en nous prouvant que le but que nous poursuivions pouvait être atteint, puisque, sans en connaître la loi il est vrai, nous obtenions quelquefois de bons résultats.

Enfin, à force d'essais et d'obstination, et obligé, par l'examen attentif des faits, de renoncer à la théorie qui attribuait la dureté finale des bétons à des combinaisons chimiques, nous arrivâmes peu à peu à reconnaître que l'intensité, la rapidité de la prise initiale des bétons, et l'énergie de leur durcissement final provenaient exclusivement de leur état de fermeté, de leur homogénéité, de la perfection de leur broyage et de l'agglomération, et nullement de la nature des matériaux qu'ils contenaient en dehors des chaux et des ciments.

En effet, nous pûmes remarquer qu'en certains cas, quand, en plein été, les sables étaient très-secs, quand nous introduisions dans les bétons une plus grande quantité de matières pouzzolaniques bien sèches, il nous arrivait d'obtenir des bétons beaucoup plus fermes, beaucoup plus faciles à agglomérer et qui nous donnaient d'excellente maçonnerie, résultats qui cessaient aussitôt que les sables redevenaient humides ou que les pouzzolanes étaient moins sèches.

Du moment que ce fait fut bien démontré, quand nous eûmes reconnu, par des expériences sans nombre, qui, toutes, sans présenter jamais aucune exception, vinrent confirmer que la bonté des bétons, la rapidité de leur prise, leur dureté finale n'étaient point proportionnelles

à certaines combinaisons chimiques qui en réalité ne se produisent pas, mais bien, qu'elles étaient proportionnelles à leur état d'homogénéité, de fermeté et d'agglomération, le procédé nouveau était fondé, en théorie du moins ; l'art de construire s'enrichissait désormais d'un moyen précieux, fécond, sans analogie avec les procédés employés jusqu'à ce jour, celui d'obtenir avec le sable et la chaux une pâte de pierre, une maçonnerie monolithique ayant toutes les propriétés des meilleurs matériaux connus.

Mais, si la théorie était faite, il était bien loin que la pratique le fût également, et il restait encore à trouver des moyens faciles, certains, réguliers, d'obtenir toujours, en toute saison, avec toutes les chaux, tous les sables, des bétons toujours fermes, toujours homogènes, toujours bien agglomérés.

Cette pratique était pleine de difficultés de toute espèce, et il n'a pas fallu moins de huit ans de recherches, d'efforts obstinés pour les vaincre toutes; ce à quoi nous sommes enfin parvenu d'une manière complète.

La bonté des résultats à obtenir étant proportionnelle à l'agglomération plus ou moins parfaite, et cette agglomération elle-même étant subordonnée au plus ou moins de fermeté des bétons, nos premiers efforts durent tendre à obtenir toujours, dans toutes les circonstances possibles, les bétons dans l'état de fermeté le plus convenable pour la meilleure agglomération.

Le plus ou moins de fermeté des bétons provient, ou de la présence d'un excès de chaux, ou de celle d'un excès d'eau.

L'excès de chaux dans les bétons agglomérés résulte

de ce que la prise et la dureté finales des bétons ordinaires n'ayant qu'une cause unique, la bonté de la chaux elle-même, les constructeurs sont fatalement conduits, pour augmenter la puissance de cette seule source de bonté des bétons, à augmenter les quantités de chaux, sans quoi leurs bétons ne prendraient pas.

D'un autre côté, on arrive forcément à introduire un excès de chaux dans les bétons ordinaires, afin, à défaut de machines, de permettre à la force de l'homme d'opérer facilement, sans trop de fatigue, le mélange de la chaux et des sables, mélange qui devient trop pénible lorsque les sables et cailloutis se trouvent en trop grande proportion.

Or, la chaux ne peut se trouver en excès dans les bétons sans que ces derniers participent à ses propriétés.

Lors donc que des bétons contiennent trop de chaux, ils sont mous, ils fuient sous le pilon ; si on cherche à les agglomérer, l'eau s'en sépare, coule à la surface, qu'elle délaye en rendant toute prise impossible ; elle remplit les vides, ce qui empêche l'agglomération à défaut de laquelle la maçonnerie obtenue est poreuse, légère, friable, gélive, absorbante, perméable.

De plus, par le fait de la propriété qu'a la chaux de se retirer sur elle-même par la prise et la dessiccation, les bétons contenant un excès de chaux se contractent, se retirent, se fendent, se gercent, ce qui les rend incapables d'être utilement employés dans les travaux d'hydraulique ou autres exposés à l'air, et ces vices existent quelle que soit du reste la bonté de la chaux employée.

La première modification que nous avons dû apporter

dans la confection des bétons ordinaires, dans le but d'obtenir une plus grande fermeté, a donc été de réduire les quantités de chaux ordinairement employées.

Ces quantités s'élèvent ordinairement au tiers ou au quart du volume du sable : la pratique nous a enseigné que, pour obtenir le maximum de bonté des bétons agglomérés, il fallait réduire les proportions de chaux au septième, au huitième, au dixième du volume des sables.

Quoique si grandement réduite, cette quantité de chaux est tout à fait suffisante, car elle remplit complétement les vides du sable.

En effet, par le choc du pilon, les grains de sable se tassent, se serrent, se choisissent pour ainsi dire; les grains moyens se logent dans les interstices des gros grains, les grains fins remplissent les vides laissés par les grains moyens, de telle sorte que les sables dans les bétons agglomérés présentent beaucoup moins de vides que dans les bétons ordinaires, et la quantité de chaux, quoique si réduite, est encore suffisante pour les remplir.

Cette réduction des quantités de chaux présente plusieurs avantages en outre de la fermeté plus grande qui en résulte pour les bétons; la chaux, trouvant dans le sable des points d'appui plus nombreux, cristallise avec une énergie plus grande, d'où résulte une bien plus grande dureté.

D'un autre côté, l'excès de quantité du sable dont les grains sont enchevêtrés, arc-boutés les uns contre les autres, empêche les retraits de la chaux, si bien qu'une maçonnerie de bétons agglomérés ne donne lieu à aucunes fentes, à aucunes fissures, résultat précieux surtout en ce qui concerne les travaux d'hydraulique, qui,

obtenus, ainsi que nous le verrons plus loin à, l'état monolithique, ne forment qu'un seul bloc, sans aucuns joints, sans aucune solution de continuité.

Enfin la réduction des deux tiers des quantités de chaux est une cause évidente de grande économie.

Mais, de ce que la bonté des bétons agglomérés augmente en même temps que l'on réduit la quantité de chaux, il ne faudrait pas en conclure, ainsi que nous l'avons entendu dire, que cette bonté provient de ce que les bétons sont plus maigres; ce serait une funeste erreur : les bétons avec peu de chaux sont bons s'ils sont bien agglomérés; mais ils doivent leur bonté, non à la maigreur, mais à l'agglomération, et s'ils n'étaient pas agglomérés, comme dans les procédés ordinaires, où la bonté des bétons ne provient que de la bonté de la chaux, moins il y aurait de chaux, moins les bétons seraient bons, et en effet les bétons maigres non agglomérés exposés à l'air tombent d'eux-mêmes en poudre.

Nous avons dit que le manque de fermeté suffisante des bétons provenait soit de la présence d'un excès de chaux, soit de celle d'un excès d'eau; par l'élimination d'une quantité considérable de la chaux ordinairement employée, l'excès de chaux est bien supprimé; mais cette élimination est loin de suffire pour donner aux bétons la fermeté nécessaire, car elle n'enlève pas l'excès d'eau qui se trouve presque toujours dans les sables, et même dans le peu de chaux qui reste dans le béton après l'élimination, reste qui contient encore trop d'eau pour que ce béton devienne assez ferme pour recevoir une complète agglomération.

Il a donc fallu, en outre de l'élimination de l'excès de

chaux, arriver à se débarrasser de l'excès d'eau provenant ou du sable presque toujours humide, ou même seulement du peu de chaux conservée.

L'excès d'eau contenue dans les chaux provient des nécessités d'une extinction convenable, ayant pour but d'éviter ce qu'on appelle les incuits, et de donner une chaux en pâte assez molle pour se mêler facilement au sable; à ce double point de vue, la suppression de l'excès d'eau ordinairement employée offrait des difficultés toutes particulières, s'il s'agissait de la chaux éteinte en poudre, mais elle était impossible par rapport à la chaux en pierre.

En effet, pour opérer l'extinction directe en bassin de la chaux sous forme de pierres, cette chaux doit toujours baigner dans un excès d'eau, sans quoi une partie des pierres ne s'éteindrait pas, formerait ce qu'on nomme des incuits, lesquels, demeurant dans le béton, s'éteindraient à la longue dans la maçonnerie elle-même, donnant ainsi lieu à des éclats, à des dégradations.

Donc avec la chaux en pierre il n'y avait pas de réduction d'eau possible, et il a fallu avoir recours au moyen que nous examinerons tout à l'heure.

Il n'en est pas de même avec la chaux déjà éteinte en poudre; il devient alors possible de réduire à volonté les quantités d'eau employées; on peut n'employer, par exemple, que trente litres, quarante litres d'eau par hectolitre de chaux en poudre, lorsque dans l'usage habituel on en emploierait cinquante, soixante litres et plus pour opérer l'extinction.

Après cette élimination d'eau, si on mêle la chaux à un sable complétement sec, obtenu en cet état soit artificiellement par la chaleur, soit par l'effet des rayons

solaires et en l'absence de pluie, l'on pourra obtenir un mélange assez ferme, assez privé d'eau pour donner par l'agglomération un béton d'une bonté portée au maximum possible.

Mais, dans la pratique, la dessiccation naturelle du sable est très-rare, et la dessiccation artificielle presque impraticable, et alors quand même on a déjà éliminé une grande partie de l'excès de l'eau par la réduction de la quantité de chaux employée et par une extinction faite au minimum d'eau possible, le sable étant humide il y a encore trop d'eau, à plus forte raison y en a-t-il trop si l'on emploie la chaux éteinte en pierre, laquelle contient considérablement plus d'eau que la chaux en poudre.

C'est dans ce cas qu'il faut employer d'autres moyens plus énergiques et plus certains.

C'est alors qu'il faut avoir recours à l'introduction dans les bétons de matières pouzzolaniques, telles que terre cuite pilée, briques pilées, cendres de houille, de tourbe, de schiste, pouzzolanes naturelles, non pas, comme on le croyait naguère, pour introduire dans les bétons des éléments chimiques destinés à produire des combinaisons propres à donner une prise plus énergique, plus intense, mais tout simplement pour absorber l'eau qui peut encore se trouver en excès, soit dans les chaux, soit dans les sables.

L'expérience a prouvé que l'introduction des matières pouzzolaniques dans les bétons agglomérés n'a d'autre but et d'autre effet, par leur propriété d'absorption, que d'absorber l'eau en excès, et de donner par ce moyen toute la fermeté désirable au béton afin de faciliter l'agglomération.

Une pouzzolane qui n'absorberait pas, soit parce qu'elle serait humide, soit parce qu'elle serait vitrifiée, ne jouerait aucun rôle, ne produirait aucun résultat; cette introduction serait complétement inutile.

D'après cette conception, les quantités de matières pouzzolaniques à employer doivent être proportionnelles aux quantités d'eau à soustraire; s'il a plu, si le sable est mouillé, si on a employé de la chaux éteinte en pierres, il faudra d'autant plus de pouzzolane qu'il y aura plus d'eau à soustraire : cette quantité pourra s'élever au cinquième, au quart du volume total, selon les cas.

Elle pourra être réduite au dixième, au vingtième, au quarantième de ce volume si les sables sont secs, si la chaux est éteinte en poudre.

Dans tous les cas, qu'on en ait employé peu ou qu'on en ait employé beaucoup, la bonté des bétons se réglera, non sur le plus ou le moins de pouzzolane, mais bien sur la bonne trituration et la bonne agglomération; on peut même affirmer qu'à bonne préparation égale, la dureté finale des bétons sera d'autant moins grande que l'on y aura introduit plus de pouzzolane; car les pouzzolanes, étant pulvérulentes et friables, absorbent beaucoup de chaux en pure perte, et ne lui donnent pas, dans sa cristallisation, le point d'appui solide qu'elle trouve sur le sable.

D'après cette théorie, les pouzzolanes ne seraient que l'hygromètre des bétons, leur rôle serait d'absorber l'eau et non de donner par elles-mêmes la dureté.

C'est ainsi que leur emploi, jusqu'à ce jour voué à l'empirisme, acquiert pour les bétons agglomérés une

complète certitude; on sait enfin à quoi elles servent, tandis que jusqu'à ce jour l'irrégularité et l'incertitude des résultats produits par les pouzzolanes en avaient fait abandonner l'usage. En réduisant la pouzzolane à un rôle plus modeste mais plus sûr, en en faisant la *doseuse* de l'eau, il devient possible, par une introduction plus ou moins grande de ces matières, de ramener toujours les bétons à un état de fermeté normale, toujours la meilleure pour obtenir une bonne agglomération.

De telle sorte qu'en tout temps, en tous lieux, en toutes saisons, avec toutes les chaux, tous les sables, et quel que soit l'excès d'eau qu'il faille combattre, l'on est toujours assuré d'obtenir des bétons de fermeté parfaite.

A ce point de vue, l'emploi des matières pouzzolaniques, quoique inerte au point de vue chimique, nous le croyons, est la base, la pierre angulaire des bétons agglomérés.

Par ce moyen, même avec les chaux les plus médiocres, on obtiendra une maçonnerie qui, bien préparée d'ailleurs, aura en quelques semaines la dureté de la pierre, et sera lourde, compacte, imperméable, insensible aux intempéries, une maçonnerie enfin qui aura assez de dureté et de résistance pour permettre l'élévation des plus hautes maisons, et pour faire face à toutes les exigences de l'art hydraulique.

Nous le répétons donc encore une fois, les pouzzolanes sont inertes au point de vue des combinaisons chimiques, du moins en ce qui concerne les bétons agglomérés. La prise initiale et la dureté finale de ces bétons ne proviennent pas de la formation, par voie humide, de silicates doubles auxquels elles auraient donné naissance;

elles ont un autre rôle, elles absorbent de l'eau, elles amènent les bétons à un état normal de fermeté régulière; mais en réalité, malgré la présence de la pouzzolane, la dureté finale des bétons n'est pas plus grande que si l'on avait employé purement et simplement les sables desséchés artificiellement.

Mais si on désirait obtenir une propriété plus active de durcissement, si l'on avait besoin d'une rapidité et d'une intensité de prise plus grandes, si l'on voulait obtenir les bétons dans un état de cristallisation donnant une ténacité considérable qui leur permît de résister aux grandes pressions d'eau, à l'action dissolvante de l'eau de mer, aux chocs, aux frottements, si, par exemple, on voulait obtenir des trottoirs et des chaussées; au lieu de pouzzolanes inertes, il faudrait employer les ciments, qui, eux, exerceraient réellement une influence active attribuée à tort à l'introduction des matières pouzzolaniques.

L'introduction de ciments de Portland, de Boulogne, de Vassy, de Grenoble ou autres quelconques, pourvu qu'ils soient de bonne qualité, donne des résultats inouïs, inconnus jusqu'à ce jour.

Les ciments agissent de deux manières: comme absorbants énergiques, jouant ainsi, à ce point de vue, le même rôle que les pouzzolanes; et comme chaux surhydraulique, donnant au béton un liant, une plasticité que ne leur donne pas la pouzzolane, et d'où résultent une agglomération plus facile et une cristallisation plus énergique, en même temps que la prise même de ce ciment vient s'ajouter à la prise de la chaux de manière à en décupler, à en centupler peut-être en certains cas la rapidité et l'intensité.

L'emploi des ciments est d'autant plus remarquable et important que les quantités à introduire sont beaucoup moins considérables que par les procédés ordinaires, réduction qui provient des mêmes causes qui nous ont permis de réduire des deux tiers la quantité de chaux employée; en conséquence, au lieu d'employer un volume de ciment égal à celui du sable, ou égal à la moitié de ce volume, comme il est d'usage par les procédés ordinaires, nous n'introduisons de ciment dans le béton qu'un quarantième, un trentième, un vingtième de son volume, et pourtant, malgré ces faibles quantités, on obtient des prises rapides et intenses, et quelques jours suffisent pour donner la dureté de la pierre la plus dure et la résistance aux intempéries.

Si nous portons l'introduction du ciment au dixième du volume du béton, nous obtenons à bref délai la dureté du granit et nous pouvons aborder le problème du bétonnage des chaussées.

La puissance de prise qui résulte de l'introduction d'une si faible quantité de ciment s'explique par des causes tout à fait analogues à celles d'où provient la bonté des bétons agglomérés à base de chaux seule.

En effet, si dans un béton à base de chaux obtenu à l'état de fermeté la plus convenable pour être aggloméré, état qui donne à la chaux une intensité et une énergie de prise dont les procédés ordinaires n'approchent pas, on ajoute un excédant de ciment, c'est-à-dire de chaux surhydraulique, ce ciment, délayé, trituré par un broyage énergique, ne se trouvant pas en contact avec un excès d'eau, au lieu de former, comme d'usage, une bouillie claire, presque liquide, se trouvera

dans un grand état de fermeté; ses molécules, rapprochées par l'élimination de l'eau, par une trituration parfaite, par une agglomération énergique, cristalliseront, comme la chaux, avec une prodigieuse énergie: seulement, la force de cristallisation, de prise propre au ciment, venant s'ajouter à celle déjà si considérable de la chaux, donnera une prise totale dont la rapidité et l'intensité seront, nous le répétons, cent fois plus grandes en certains cas que celles des meilleurs bétons de chaux préparés suivant les procédés ordinaires.

Avant d'être parvenu à bien connaître le véritable rôle des matières pouzzolaniques et le mode le plus convenable d'extinction de la chaux en poudre; avant d'avoir trouvé le moyen le plus simple d'employer les ciments à la dose à laquelle il faut les employer, il nous a fallu des années d'expériences; mais, ce qui nous a donné le plus de peine, de travail et de déception, a été de trouver les appareils les plus convenables pour opérer la trituration de matières presque sèches, et par conséquent résistantes, et surtout le mode de trituration qui nous permît, sans addition d'eau, d'obtenir des bétons dans un état de parfaite homogénéité de la pâte, tout en conservant une plasticité et une fermeté suffisantes.

Pendant huit ans nous avons lutté contre cette difficulté, et nous ne l'avons enfin vaincue que dans ces derniers temps, et grâce au concours de M. Franchot, ingénieur civil, bien connu par ses travaux, et qui a bien voulu nous aider de sa collaboration.

Au début nous avons employé le broyeur Schlosser, lequel a été suffisant tant que nous avons employé la

cendre de houille et que nous n'avons bâti que des maçonneries grossières; par ce broyeur et avec la force d'un cheval, nous avons obtenu cinq ou six mètres cubes par jour d'un béton passablement bien mélangé. Mais aussitôt que nous avons employé le sable beaucoup plus fin que la cendre, et que nous avons cherché à réduire les quantité d'eau, la perfection du broyage est devenue beaucoup plus difficile, et les quantités obtenues ont été considérablement réduites.

Avec le sable nous étions toujours entre deux écueils: si nous maintenions une humidité assez grande pour permettre un mélange et un broyage faciles, nous obtenions un béton trop mou, difficile à agglomérer, et par conséquent une maçonnerie de qualité médiocre; si, au contraire, nous réduisions l'eau de manière à obtenir le béton au degré de fermeté le plus convenable pour l'agglomération, les matériaux trop secs exigeaient une force excessive pour obtenir peu de résultats, et le plus souvent le mélange se faisait mal, et l'on n'obtenait, au lieu d'un béton homogène en pâte plastique, qu'une poudre presque sèche, non agglomérable.

Avec ce béton de sable, quand il se trouvait de fermeté convenable, un fort cheval tirant cent kilogrammes ne nous donnait, avec le broyeur Schlosser, que deux ou trois mètres cubes par jour de béton mal trituré, et avec une locomobile de douze chevaux, nous en obtenions à peine huit ou dix mètres cubes.

Cela provenait de ce que les organes intérieurs de ce broyeur étaient mal disposés pour ce rude travail, et qu'il n'avait que deux issues à la partie inférieure, de telle sorte que le béton se comprimait entre les parois

pleines, formant un frein d'une puissance telle, que bien des fois nous avons brisé les machines.

Nous avons résolu le problème, en tant que force, en supprimant les parties pleines, et en établissant à la partie inférieure une issue continue, par laquelle le béton est constamment expulsé, au moyen de branches en forme cycloïdale.

Par ce moyen, le béton, ne trouvant plus de parties pleines, ne se comprime plus contre elles, il fuit toujours devant l'expulsion; au moyen de cette amélioration la dépense de force a été réduite dans une énorme proportion, tout en augmentant de beaucoup la production du béton.

Un broyeur Schlosser produisait à peine trois mètres cubes, avec un effort de traction permanente de cent kilos, tandis qu'avec le broyeur à issue continue, en ne dépensant qu'une force de traction de soixante-dix kilos, c'est-à-dire la force d'un cheval de moyenne grandeur, on obtient, non pas trois mètres, mais douze ou quinze.

La même locomobile, qui ne produisait que huit ou dix mètres, en produit, tout en employant un tiers de moins de force, quatre-vingts ou cent mètres.

Mais l'utilisation de la force n'étant qu'un des côtés du problème, il fallait encore obtenir l'homogénéité, la plasticité, tout en conservant la fermeté, et pendant longtemps tous les efforts ont échoué.

En effet, si l'on jetait pêle-mêle, dans le broyeur, de la chaux en pâte très-ferme, de la terre cuite ou du ciment, et toute la proportion du sable qu'on avait à employer; si ce sable n'avait que l'humidité nécessaire pour obtenir un béton ferme, la chaux, au lieu de lubrifier le sable,

se pelotonnait, se roulait dans la poussière sèche de la terre cuite et du ciment, se logeait dans les interstices du sable, et, malgré un broyage énergique et même plusieurs fois répété, on n'obtenait encore que du béton en poudre non agglomérable.

Si on y ajoutait de l'eau pour l'obtenir à l'état plastique, il devenait trop mou.

Nous avons pris le parti d'opérer la trituration du béton en deux broyages :

Dans le premier nous introduisons toute la chaux, toute la terre cuite et une ou deux parties de sable seulement; dans ce premier broyage, la chaux, quoique très-ferme, étant en quantité considérable par rapport à la terre cuite et au sable, conserve sa plasticité et lubrifie complétement et facilement le sable.

Alors, dans un second broyage, nous mélangeons le mortier obtenu du premier broyage avec le reste du sable, mélange qui se fait de la manière la plus intime et la plus facile et qui donne un béton homogène et ferme quoique plastique.

Cette nécessité de deux broyages distincts nous a conduit à monter des appareils de deux broyeurs conjugués, mus par la même force; nous en avons qui, avec un seul cheval, donnent un mètre cube par heure de béton aggloméré broyé deux fois.

Le procédé des bétons agglomérés a été fondé pratiquement le jour où, par le double broyage et par la meilleure utilisation de la force, nous avons obtenu dix mètres de maçonnerie par jour pour la force d'un cheval, faite avec des bétons très-fermes et parfaitement homogènes.

Reste l'agglomération.

Si l'on enlève le béton au sortir du broyeur, si on le porte dans le moule que l'on veut remplir, qu'on l'y étale par couches minces et successives, et que chaque couche de deux centimètres à peine d'épaisseur soit vigoureusement pilonnée, l'agglomération s'exerçant sur un béton ferme et plastique, le durcira, le serrera, le tassera, le feutrera par le choc, tous les vides disparaîtront, l'on obtiendra une masse compacte, résistante, tellement dense, qu'elle deviendra sonore sous le choc du pilon.

Lorsque ce moule sera rempli de ce béton plastique, ferme et aggloméré, on le démontera immédiatement, pour le porter plus loin et le remplir de nouveau, et le bloc qui restera, quoique humide et même avant tout commencement de prise, sera assez ferme, assez résistant pour conserver la forme qu'il aura reçue par le moule sans aucune déviation, et pour supporter des poids assez considérables.

La bonté des bétons dépendant, ainsi que nous venons de le voir, presque en totalité de l'agglomération, tous les soins doivent tendre à la rendre de plus en plus facile et parfaite et à éloigner toutes les causes qui pourraient lui nuire : or, nous avons déjà vu que, pour arriver à la perfection d'agglomération, il fallait éliminer tout excès d'eau, obtenir les bétons en pâte très-ferme et complétement homogène au moyen d'un double broyage et de machines perfectionnées; dans le même but, il faut aussi proscrire l'introduction de cailloutis et de pierrailles dans les bétons agglomérés, quoique cette pratique soit géné-

ralement admise et professée pour les bétons ordinaires.

Dans les bétons ordinaires, trop mous, presque fluides, on introduit des cailloutis, des pierrailles, dans le double but d'obtenir une économie, les cailloutis coûtant moins cher que le béton, dans lequel ils occupent de la place en augmentant le volume, et de maigrir le béton, de diminuer sa tendance aux retraits, aux fissures, aux gerçures, et enfin de donner à la prise des points d'appui multipliés.

Dans la pratique ordinaire, l'introduction des cailloutis et pierrailles est donc favorable.

Mais elle serait complétement nuisible avec les bétons agglomérés : en premier lieu et dans des cas nombreux, le cailloutis coûte aussi cher que la pâte d'un béton n'ayant qu'un dixième de son volume de chaux, et c'est le cas le plus fréquent pour les bétons agglomérés ; donc la présence de cailloutis ne donnerait pas d'économie ; en second lieu, ce qui est plus important, le cailloutis, étant plus volumineux que les autres matières qui entrent dans le béton, recevrait seul le choc du pilon, tandis que la pâte, se glissant dans les interstices des cailloutis, y échapperait presque complétement, de telle sorte que, par insuffisance d'agglomération, des bétons préparés par les procédés que nous préconisons, dans lesquels on introduirait des cailloutis, demeureraient spongieux, absorbants, gélifs, et, s'ils étaient destinés à des travaux d'hydraulique, ils laisseraient filtrer l'eau.

La pâte des bétons à agglomérer doit être composée de menus matériaux de grosseur à peu près égale et régulière : tel est le sable de rivière, par exemple, que

nous prenons pour type, de telle sorte qu'en versant le mélange dans le moule par couches d'un centimètre, le choc du pilon ne frappe qu'une pâte bien homogène, au lieu de frapper le sommet de quelques pierres s'il s'en trouvait.

En résumé, par les procédés que nous venons d'indiquer, en ayant le soin attentif d'éteindre la chaux avec une quantité d'eau moindre que celle ordinairement employée ; en introduisant dans le béton une quantité de matière pouzzolanique sèche et en poudre, proportionnelle à l'humidité du sable et à l'eau à éliminer, quand il ne s'agit que de maçonneries ordinaires ; ou bien en remplaçant tout ou partie de cette pouzzolane par du ciment, lorsqu'on veut obtenir une prise plus rapide et plus intense;

En opérant en deux fois le mélange de ces matières diverses, par un double broyage parfait et énergique ;

En n'introduisant dans le béton que des matériaux de grosseur presque uniforme, des sables et non du gravier ni du cailloutis ;

En opérant sur un béton ainsi préparé et à l'état de pâte plastique, très-ferme et très-homogène, une vigoureuse agglomération produite par le choc d'un corps dur et pesant, s'exerçant sur des couches minces et successives de béton,

On obtiendra finalement, dans tous les cas, avec toutes les chaux, tous les sables, tous les ciments, toutes les pouzzolanes, des résultats de dureté et de prise qui dépasseront tout ce que l'on pourrait imaginer.

Ces résultats se produiront sur tous les bétons, quels que soient les matériaux que l'on ait employés, aussi

bien avec les chaux et sables les plus communs, les moins bons, qu'avec les chaux et les sables les meilleurs.

Avec les plus mauvaises chaux hydrauliques, et même avec la chaux grasse et le plus mauvais sable, même avec le sable marneux, du béton tenu bien ferme, bien mélangé et bien broyé, et bien aggloméré, donnera une maçonnerie qui aura une prise assez intense et assez énergique pour que chaque jour, si on bâtit à l'air en élévation, on puisse élever sur une partie moulée de la veille un mur d'un mètre de hauteur, c'est-à dire qu'en vingt jours on pourrait élever un mur de vingt mètres de hauteur.

Ou bien, s'il s'agit de maçonnerie hydraulique destinée à supporter la pression des eaux ou leur courant, trois ou quatre jours suffiront pour donner une résistance assez grande, tandis qu'avec des bétons ordinaires, à supposer que l'on pût les employer, il faudrait, même avec les meilleures chaux, quinze jours, un mois peut-être et plus, pour pouvoir élever une seconde assise d'un mètre sur une première déjà précédemment bâtie; il leur faudrait des mois entiers pour résister à la pression des eaux, ou à leur courant, à supposer qu'ils pussent résister même après ce terme, ce qui est plus que douteux.

Un mois après leur mise en place, ces bétons agglomérés, quoique composés de mauvais matériaux, seraient déjà durs comme la bonne pierre et capables de résister aux gelées, tandis que les bétons ordinaires, quoique composés des meilleurs matériaux, demeureraient à jamais légers, friables, spongieux, gélifs, et leur dureté n'approcherait jamais de celle de la pierre.

Mais si, au lieu de s'exercer sur de mauvais matériaux, l'agglomération s'exerce sur des bétons composés de sable de rivière et de bonne chaux hydraulique, bien fermes, bien broyés, bien préparés, en un mot, c'est-à-dire avec une introduction de matières pouzzolaniques convenable, la prise commence dès la première heure; elle est telle que, sans aucune crainte, il est possible de décintrer, vingt-quatre heures après la confection, des arcs de voûte surbaissés, de plusieurs mètres de portée, sans qu'il se produise aucun mouvement, aucune fissure.

Cette maçonnerie, en moins de huit jours, ne craindra plus rien des gelées; elle sera dense, imperméable, et deviendra bientôt aussi dure que les plus durs calcaires.

Les résultats seront bien plus remarquables encore, si l'on remplace les pouzzolanes par de bon ciment : alors la prise sera tellement énergique et prompte, que des trottoirs pourront être livrés dans les vingt-quatre heures à la circulation, et des chaussées en moins de quinze jours aux voitures.

C'est-à-dire que, grâce à la bonne préparation, à l'agglomération, un béton composé de sable et de chaux, et dans lequel on aura introduit une très-faible quantité de ciment, quoique à base de chaux, aura une prise plus rapide que celle d'un béton de ciment pur, où le ciment entre pour un tiers du volume; mais encore cette prise augmentera avec une telle promptitude et une telle énergie, qu'au bout de cinq à six jours elle dépassera de beaucoup celle du ciment pur, même le meilleur.

Cela se conçoit facilement; lorsqu'on emploie le ciment le meilleur d'après les procédés ordinaires, on le mélange

avec une, deux ou trois fois son volume de sable, on le délaye dans l'eau de manière à en former une bouillie claire, semi-liquide, que l'on étend ensuite à la truelle, s'il s'agit de dallage.

Un béton de ce genre, quoique ayant pour base les meilleurs ciments, contient toujours une grande quantité d'eau qui, ainsi que nous l'avons vu, ralentit, diminue la rapidité et l'intensité de la prise; cette eau, en s'évaporant, laisse des vides qui donnent un béton spongieux, et ce béton, chargé d'un excès de ciment, ne peut se dessécher sans qu'il ait de nombreux retraits et des fissures.

Avec les bétons agglomérés, les choses ne se passent pas ainsi; introduits dans un béton privé d'excès d'eau, broyés avec l'énergie et la perfection nécessaires par des machines convenablement appropriées, les ciments, intimement mélangés avec les autres matériaux, n'ont plus leurs molécules éloignées par la présence d'un excès d'eau, et la prise de ces ciments devient d'autant plus énergique que, par un pilonnage vigoureux et exercé sur des couches de béton fermes et minces, les molécules à juxta-position acquièrent une faculté de cristallisation dont la puissance se trouve plus que décuplée.

Telle est la raison pour laquelle un béton à base de chaux, et ne contenant qu'un seizième, un vingtième de ciment, deviendra plus dur qu'un béton à base de ciment pur, alors même que le volume de ce ciment serait égal à celui du sable.

Si, au lieu d'un vingtième de ciment, on en introduisait un dixième, un huitième, l'intensité de la prise serait élevée au centuple peut-être, et alors la dureté égalerait

celle du granit, et l'on pourrait faire des chaussées à voitures assez résistantes pour remplacer le macadam et le pavage.

Le mode de préparation que nous venons d'indiquer et l'agglomération déterminent une telle puissance d'effets, des résultats de prise tellement considérables, que, ainsi que nous l'avons déjà dit, la seule cause de la bonté des bétons ordinaires, à savoir, la bonne qualité des chaux et des ciments, devient à peu près insignifiante, à ce point que l'on peut admettre que par ce procédé toutes les chaux hydrauliques, tous les ciments, même les plus médiocres, sont également bons.

C'est ainsi, par exemple, que, si l'on fait des maçonneries, des dallages avec des bétons agglomérés ayant pour base diverses chaux hydrauliques, telles que chaux d'Argenteuil, du Raincy, de la Mancelière, d'Echoisy, du Theil, c'est-à-dire une série de chaux partant des plus ordinaires pour s'élever aux plus renommées, aux plus coûteuses, en y introduisant toutefois la même dose d'un même ciment, on pourra constater que, pourvu que d'ailleurs les conditions de fermeté, de broyage et d'agglomération soient égales, il n'existe entre ces chaux aucune différence bien appréciable; toutes donnent une dureté égale, et c'est à peine s'il existe entre elles, dans la rapidité de la prise, une différence de quelques jours; au bout de fort peu de temps il est à peu près impossible de trouver aucune différence, tous ces bétons à base de chaux diverses, en moins de huit jours, étant également durs, imperméables et insensibles aux gelées.

Cette égalité de prise de toutes les chaux hydrauliques est la raison pour laquelle, avec nos procédés,

toutes les chaux hydrauliques sont bonnes à la mer, tandis qu'aujourd'hui, par les procédés ordinaires, une seule chaux, la chaux du Theil, peut résister à son action dissolvante, si toutefois elle lui résiste, tandis que, par l'agglomération, toutes les chaux hydrauliques résistent d'une manière absolue.

A propos de chaux du Theil, l'on attribue en général son énergie de prise et sa résistance à la mer à sa composition chimique, à la présence d'une quantité de silice plus grande que dans les autres chaux. Sans vouloir nier cette propriété d'une manière absolue, nous sommes beaucoup plus porté à croire que cette prise et cette résistance proviennent de son état physique moléculaire, en ce sens que cette chaux, lorsqu'elle est éteinte en poudre, sous un volume donné, est de moitié plus lourde que toutes les autres chaux : un hectolitre de chaux du Theil, éteinte en poudre, pèse soixante-quinze kilogrammes, tandis que les autres chaux pèsent cinquante kilogrammes.

Or, comme dans les bétons ordinaires la chaux s'emploie au volume et non au poids, il en résulte que dans la confection d'un béton, quand on se sert de la chaux du Theil, on en introduit, sous un volume égal, la moitié de plus que si l'on employait une chaux ordinaire ; on conçoit donc qu'un béton qui contient cinquante pour cent de chaux de plus qu'un autre soit meilleur, d'autant plus que cette chaux, occupant un volume moindre, puisqu'elle a un plus grand poids, doit avoir une prise plus énergique, les molécules étant plus rapprochées.

Et comme preuve à l'appui de ce que nous avançons, nous répéterons que si, au lieu de doser la chaux en

volume, ou la dose au poids, et que l'on soumette les bétons obtenus à la préparation, à l'agglomération que nous indiquons, les avantages de la chaux du Theil disparaissent en partie, du moins sa supériorité est grandement réduite, le dosage au poids rétablit l'équilibre, et l'on peut reconnaître qu'à poids égal, avec les chaux hydrauliques les plus vulgaires, on peut obtenir à peu près d'aussi bons bétons qu'avec la chaux du Theil, ou du moins, s'il y a une différence, elle est presque insaisissable; résultats précieux surtout pour les travaux à la mer qui, exigent toujours les chaux et les ciments de qualité supérieure, qui se trouvent le plus souvent à des distances telles que les prix de transport doublent et triplent la dépense.

Le même effet se produit pour les ciments, pourvu que ces ciments soient de même nature et bien fabriqués. Nous entendons par : de même nature, que les ciments essayés seront tous lourds ou tous légers.

Les ciments lourds à prise lente sont préférables, car la prise des ciments légers est tellement rapide qu'on a à peine le temps de les employer.

Or, entre les divers ciments lourds, la seule différence que nous ayons pu trouver entre eux, en supposant des conditions, un dosage égal pour tous, et l'emploi de la même chaux, s'est manifestée dans une différence d'un jour ou deux entre eux,

Les meilleurs ciments ayant au bout de trois jours une dureté que les moins bons n'avaient qu'au bout de quatre; mais dix ou quinze jours après leur confection, il devient à peu près impossible de trouver entre eux aucune différence.

Ce double fait prouve que la fermeté des bétons, leur mélange intime et l'agglomération jouent, dans la dureté et la résistance finale des bétons agglomérés, un rôle infiniment plus important que la faculté initiale de prise des chaux et ciments, le seul élément pourtant sur lequel les constructeurs peuvent compter par l'emploi des moyens ordinaires.

Cette puissance de l'agglomération ne se fait pas sentir seulement sur le premier degré de prise initiale des bétons, provenant de la cristallisation propre aux chaux hydrauliques et aux ciments; ses effets se font sentir bien plus encore sur les trois autres causes de durcissement.

Ainsi, lorsqu'un béton bien aggloméré, lourd, dense, compacte, sans vides, se dessèche, on conçoit que la chaux, étant tassée, feutrée par l'agglomération, aura une cristallisation beaucoup plus intense que par les procédés ordinaires, où après la dessiccation les molécules de chaux seront quelquefois tellement éloignées, qu'aucune cristallisation ne pourra se produire: aussi un bon béton, bien aggloméré, déjà si dur par la simple prise moléculaire des chaux et ciments, verra-t-il augmenter cette dureté, par la simple dessiccation, dans une énorme proportion.

Ce durcissement sera bien plus grand, plus excessif encore, lorsque la chaux, déjà si rapprochée par l'agglomération, verra augmenter son poids, sa dureté, son énergie cristalline, par l'effet de l'absorption de l'acide carbonique de l'air.

Lors donc que les brouillards, les eaux pluviales, viendront atteindre un béton aggloméré, la chaux qu'il con-

tient, absorbant un poids égal au sien d'acidecarbonique, acquerra une densité beaucoup plus grande, et une compacité telle que les parties carbonatées deviendront imperméables, à ce point, quand il s'agit de bétons bien préparés, qu'une fois que la surface est carbonatée, l'humidité ne pénètre plus à l'intérieur, ce qui est le moyen assuré d'une durée éternelle pour les bétons.

C'est ce qui fait que les toits en terrasses, les trottoirs, les chaussées, les bétons à la mer, étant imperméables, ne peuvent être ni désagrégés ni dissous.

Si l'absorption de l'acide carbonique produit des effets si énergiques, à plus forte raison les obtiendra-t-on par les incrustations de bicarbonate de chaux, qui non-seulement apporteront l'acide carbonique nécessaire à la carbonatisation de la chaux, mais encore laisseront à l'état naissant, des carbonates de chaux cristallisés qui donneront aux bétons agglomérés la densité et la dureté presque absolues qui les distinguent, en fort peu de temps, à ce point qu'un bon béton de trois mois peut devenir plus dur que le meilleur béton romain de deux mille ans.

Un béton de simple chaux hydraulique ordinaire, sans ciment, est dix fois plus dur que le meilleur béton fait d'après les procédés ordinaires, eût-il cent ans d'âge.

Ces trois causes de durcissement, la dessiccation, la carbonatisation, l'incrustation, qui au lieu d'améliorer le béton ordinaire produisent souvent sa destruction, contribuent donc pour beaucoup au durcissement final des bétons agglomérés.

Tout béton qui, par l'absence d'excès d'eau, par un

broyage parfait, par une complète agglomération, aura eu une prise initiale, moléculaire, énergique, acquierra nécessairement à la longue, par les causes de durcissement que nous avons énumérées, une dureté et une résistance vraiment prodigieuses.

Mais ce durcissement des bétons agglomérés, résultant de la dessiccation, de la carbonatisation, de l'incrustation, sera d'autant plus rapide et intense qu'au début la prise initiale des bétons aura été plus énergique.

Or, tous les praticiens savent que la température joue un rôle très-important dans la rapidité et l'intensité de la prise des bétons; il est bien généralement connu que la prise des mortiers, des bétons, des chaux et des ciments est beaucoup plus rapide, beaucoup plus énergique en été qu'en hiver, condition de sécheresse à part.

D'un autre côté, ayant eu souvent l'occasion d'observer que la chaleur de la vapeur ou d'un foyer activait considérablement la prise, tout en augmentant la dureté, nous avons dû conclure que, pour obtenir la prise initiale la plus vigoureuse, il fallait soumettre les bétons agglomérés à la chaleur, de manière à élever considérablement leur température.

La différence moyenne de vingt-cinq degrés de chaleur qui existe entre l'été et l'hiver donnant des résultats aussi frappants que ceux que l'on constate tous les jours, il y avait lieu de croire qu'une température de cinquante, soixante, quatre-vingts degrés en produirait une plus considérable encore.

Cet espoir n'a point été déçu.

Nous avons soumis le béton, au moment du broyage,

à une chaleur assez élevée pour le porter jusqu'à cent degrés environ; nous l'avons employé, aggloméré, pendant qu'il conservait encore cette température, et, à notre grande satisfaction, nous avons pu reconnaître que l'analogie ne nous avait point trompé; et plus tard, avec douze degrés de froid, nous avons pu faire des trottoirs et chaussées ayant une prise tellement rapide qu'en vingt-quatre heures nous avons obtenu une dureté aussi grande que nous avions l'habitude de l'avoir au bout de quinze jours. Par l'emploi de la chaleur, nous avions activé la prise des quatorze quinzièmes; non-seulement la prise était activée, mais encore elle était en même temps rendue plus intense; la cristallisation de la chaux, rendue plus complète, plus énergique, donnait des bétons agglomérés de teinte noire, translucide, ayant une apparence de silex, tandis qu'à froid, le même béton, composé des mêmes matériaux, ne donne qu'un béton moins coloré, plus blanchâtre, sans transparence, ce qui est l'indice que la chaux est moins bien cristallisée.

Cette intensité, cette activité de prise, cette énergie de cristallisation des chaux et ciments, portée au maximum par l'introduction de la chaleur, nous a enfin donné la solution cherchée si longtemps du problème redoutable des chaussées.

Pour obtenir des chaussées suffisamment résistantes, les bétons doivent être assez durs pour supporter le roulement quotidien de milliers de voitures, l'écrasement, le pivotement de chars portant des poids énormes de dix, de quinze mille kilogrammes, sans subir aucune détérioration.

Par l'emploi de bons matériaux, et par un travail

très-perfectionné, nous avions déjà obtenu, depuis longtemps, mais en plein été, des chaussées qui depuis deux ans et plus supportent une circulation quotidienne active de voitures très-lourdes, sans que ce mouvement considérable ait produit aucune espèce de détérioration; tandis qu'en plein hiver, par la paresse de la cristallisation de la chaux, il nous fallait attendre des semaines pour obtenir le même résultat.

Ce retard de prise causé par le froid, en ce qui concerne les villes surtout, devant suspendre trop longtemps la circulation, aurait pu rendre presque impraticable l'emploi des bétons agglomérés, pour la confection des chaussées,

Tandis que cette prise, prodigieusement activée par la chaleur, peut permettre de livrer les trottoirs à la circulation dans les vingt-quatre heures, même en hiver (plus promptement que l'asphalte), et les chaussées au bout de huit jours.

Cette influence remarquable de la chaleur sur la prise des bétons peut, en certains cas urgents, dans les travaux hydrauliques, à la mer ou sur terre, permettre de livrer les bétons à très-bref délai à des atteintes auxquelles ils n'eussent pu résister s'ils avaient été agglomérés dans les conditions ordinaires de température.

L'emploi de la chaleur a un autre avantage très-important: il peut permettre de bâtir même en plein hiver, avec les froids les plus rigoureux; en effet, si l'on élève à l'air un mur en béton aggloméré, et que ce béton, au moment où on le verse dans le moule pour être aggloméré, ait une température de soixante à quatre-vingts degrés, la

maçonnerie que l'on obtiendra conservera longtemps une température plus élevée que l'air ambiant; et si l'on a le soin, au sortir du moule, de la couvrir d'une toile goudronnée qui empêche la circulation de l'air, ou mieux encore, d'une couverture de laine qui laisse échapper les vapeurs tout en empêchant un refroidissement rapide, en vertu de la prise énergique d'un béton ainsi échauffé, le mur, en vingt-quatre heures, sera devenu assez dur pour n'avoir plus rien à craindre des gelées.

Résultat considérable, important pour l'avenir des constructions de bétons agglomérés, car l'une des plus graves objections que soulevait leur emploi était le danger que faisaient courir les gelées, et les pertes de temps qui devaient en résulter. Cette objection ne peut plus exister; et bien loin d'être obligé de suspendre les travaux de béton aggloméré à l'approche de l'hiver, ce mode de bâtir pourra être en pleine activité, pendant que, par les procédés ordinaires, le mortier gelant, la confection de la maçonnerie de pierres et de briques sera interrompue.

Après avoir reconnu l'influence de l'élimination de l'eau, d'une trituration parfaite, de l'agglomération et de l'emploi de la chaleur, et quoique cette influence se produise sur tous les bétons sans exception, quels que soient du reste les matériaux qui les composent, nous ne pouvons terminer notre travail sans appeler fortement l'attention sur le rôle important que peut jouer la nature des sables dans la rapidité et l'intensité de la prise initiale des bétons agglomérés, et dans leur dureté finale.

Ce rôle que jouent les sables dans la dureté finale des bétons mérite toute l'attention des hommes de l'art.

La bonté des sables est proportionnelle, en général, à la grosseur et à la régularité de leurs grains.

Les bétons à base de sables gros sont bien plus durs que ceux à base de sables fins, et la prise initiale de la chaux beaucoup plus énergique.

Si, comme on l'a cru pendant longtemps, la dureté des bétons était le résultat d'une combinaison chimique, le contraire eût dû se produire : du sable fin, offrant plus de surface, étant plus divisé, aurait dû donner plus de dureté, ce qui n'est pas.

Mais, si l'on admet que la prise des chaux est une cristallisation, on concevra de suite que, pourvu que cette cristallisation ne soit pas paralysée par la présence d'un excès d'eau, ainsi qu'il arrive toujours dans les procédés ordinaires, elle sera d'autant plus énergique que les grains de sable, étant plus gros, laissent entre eux des interstices plus accusés, dans lesquels la chaux moins divisée se glisse et cristallise ; tandis qu'avec les sables fins, la chaux est tellement divisée, délayée, que la cristallisation en est interrompue et qu'elle se produit avec moins d'énergie ; en outre, avec de gros sables qui présentent moins de surface que les sables fins, la quantité de chaux libre par rapport à ces surfaces est beaucoup plus considérable pour les sables gros que pour les sables fins.

Telle est la raison pour laquelle la qualité des sables joue dans la dureté finale des bétons agglomérés un rôle bien plus influent que la plus ou moins bonne qualité des chaux et des ciments ; car, avec de bon sable de

rivière et de la chaux médiocre, on obtiendra de très-excellent béton, tandis qu'avec la meilleure chaux, mais avec du sable de qualité inférieure, on n'aura que de la maçonnerie de médiocre qualité relativement à celle ayant pour base le sable de rivière ; avec de bons matériaux, disons-nous, l'on obtiendra la dureté la plus excessive, dureté qui, lorsque la pâte des bétons aura été bien préparée, triturée, agglomérée ; lorsqu'elle aura été employée à chaud, lorsque enfin, à la suite du temps, elle aura pu subir l'influence de la dessiccation, de la carbonatisation, de l'incrustation, elle s'élèvera jusqu'à égaler celle du granit et même du porphyre.

Pouvant s'exercer sur tous les matériaux, le procédé que nous préconisons, et au moyen duquel on peut obtenir toutes les duretés de pierre, embrasse évidemment l'art de bâtir dans toute son étendue.

S'appliquant à tous les matériaux, il permet, en commençant au plus bas degré de l'échelle, de substituer au sable la terre argileuse commune que l'on trouve partout, laquelle, jouant le rôle du sable et étant mélangée intimement avec la chaux, et ensuite bien triturée et bien agglomérée, donne un pisé hydraulique qui en peu de semaines acquiert à l'air la dureté de la pierre, l'imperméabilité et une résistance complètes, soit à l'action des eaux pluviales, soit aux gelées.

Avec huit hectolitres de terre argileuse commune et un hectolitre de chaux en pâte, l'on obtient un excellente pisé hydraulique, fort peu coûteux, qui remplacerait bien avantageusement le pisé de terre ordinaire, dont l'usage est encore malheureusement si généralement répandu.

Mais avec un mélange de

Sable	9
Terre cuite	1
Chaux en pâte	1

on obtiendra d'excellente maçonnerie pour murs de clôture, bâtiments agricoles, manufactures, murs de soutenement, grosse maçonnerie courante.

Avec sable	7
Terre cuite	1
Chaux en pâte	1

on obtiendra d'excellente maçonnerie hydraulique, dense, dure, impermeable, pouvant servir à la construction des murs en élévation, des habitations, des travaux d'hydraulique, des citernes, réservoirs, digues, barrages, pour tous travaux, en un mot, qui, tout en exigeant de grandes résistances, une grande dureté, ne les exigeraient pas à très-bref délai.

Si, à la dernière dose que nous venons d'indiquer, on ajoute un trente-sixième de ciment, l'on obtiendra une maçonnerie dont la bonté finale ne sera pas beaucoup meilleure, mais dont la prise sera déjà considérablement activée.

Si on ajoute un quinzième, la prise sera énergique, intense, assez grande pour que cette maçonnerie soit parfaitement résistante à la mer, aux plus violents courants d'eau; assez dure pour que par ce moyen l'on puisse faire d'excellents trottoirs.

Avec un dixième de ciment, si l'on a employé de bons matériaux, on obtiendra le maximum possible d'intensité de prise, prise si puissante, si énergique que par

ce moyen l'on pourra faire des chaussées, tandis que, par les procédés ordinaires, avec

Sable	7
Terre cuite	1
Chaux en pâte	1
Ciment	1

on n'obtiendrait que des mortiers qui, loin de pouvoir résister au roulement des voitures, loin d'être imperméables, loin de résister aux gelées, seraient légers, friables, absorbants, gélifs, et incapables de résister à aucune atteinte.

Puisque, ainsi que nous venons de le voir, selon les matériaux dont on peut disposer, mais bien plus encore selon le but qu'on se propose, on peut obtenir ou une maçonnerie qui, composée d'un simple mélange de huit à dix parties de sable, et une de chaux en pâte, coûterait nécessairement très-bon marché, ou une maçonnerie plus coûteuse si elle a pour base des chaux et ciments de premier ordre, mais qui alors atteindrait une dureté prodigieuse, d'autant plus supérieure à la maçonnerie de pierres de taille même, qu'elle serait obtenue, à l'état monolithique, sans joints par lesquels périssent toujours les maçonneries ordinaires; au moyen des bétons agglomérés, disons-nous, on embrasserait donc tout le champ de l'art de construire, et soit par le bon marché, tout en conservant une solidité exagérée, ou par l'extrême solidité, tout en conservant un bas prix excessif, il n'y a rien qui se fasse ou se puisse faire en maçonnerie de moellons, de briques ou de pierres de taille, qui ne pourrait se faire avec beaucoup plus d'avantages par l'emploi des bétons agglomérés.

C'est ainsi que l'agriculture pourrait tirer de cet emploi des conditions nouvelles de bien-être, de propreté, de sécurité, et partant de moralité générale ; en effet, et en y utilisant ses propres forces, tout agriculteur pourrait se construire à peu de frais une habitation confortable, agréable à l'œil, saine, chaude en hiver, fraîche en été ; aux murs de torchis, toujours percés à jour, toujours hideux à voir, à l'extérieur comme à l'intérieur ; au pisé toujours prêt à être délayé par les pluies ou les inondations, il substituerait une maçonnerie de bétons agglomérés, au moyen de laquelle il n'aurait rien à craindre des intempéries; il acquerrait la sécurité la plus complète, puisque les planchers et la toiture, en forme de voûte ou de terrasse, étant en béton sans aucun bois, ses habitations seraient désormais incombustibles; ce qui, on le conçoit, délivrerait les cultivateurs des dangers d'incendie toujours menaçants, qui ne les quittent jamais, grâce à leurs murs de branchages et à leurs toits de chaume.

En même temps qu'il acquerrait la sécurité, puisqu'il n'aurait plus rien à craindre ni de l'incendie ni des inondations, l'agriculteur trouverait, dans l'emploi des bétons, la salubrité et la propreté, et par là un sentiment plus élevé de la dignité humaine ; car, au lieu de coucher sur la terre, où nul plancher, nul carrelage, ne permet actuellement d'entretenir cette propreté, le sol des habitations agricoles serait recouvert d'une couche mince de béton, formant un dallage monolithique ; les murs, blanchis à la chaux, viendraient égayer l'œil, en remplaçant les torchis grossiers, les poutres enfumées et le chaume. Au dehors, la propreté régnerait comme à l'intérieur ; les environs, les cours seraient également dallés

en béton, non pas seulement pour éviter les cloaques permanents d'immondices dont la plupart des habitations agricoles sont aujourd'hui entourées, mais pour recueillir soigneusement tous les engrais liquides aujourd'hui perdus, et source permanante d'insalubrité, qui se rendraient dans une fosse à purin construite en bétons agglomérés; conservation précieuse qui augmenterait la richesse publique par des récoltes plus abondantes, richesse qui s'accroîtrait encore par la construction d'écuries, de caves, celliers, granges, fenières, le tout encore en béton, dans lesquelles les animaux vivraient dans un plus grand état de salubrité, en même temps que la conservation des récoltes serait plus complète et plus facile.

Les bétons agglomérés, par leur imperméabilité, par leur monolithisme, donneraient encore la solution d'un problème dont l'importance s'étend à la société tout entière; il donnerait enfin le moyen de faire des silos complétement propres à la conservation durable de toutes les céréales, et même des vins et des huiles; application dont les conséquences sociales, pour la salubrité, le bien-être des populations, la sûreté de l'État, dépassent par leur importance les conditions d'une simple réforme dans l'art de construire. Il n'y a pas lieu de s'étendre sur ce sujet; il suffit de l'indiquer et de dire que des silos en béton aggloméré ne coûteraient pas un franc pour la capacité d'un hectolitre, tandis que, par les seuls moyens préconisés jusqu'à ce jour, ils coûteraint au moins quatre à cinq fois plus cher.

Les habitants des villes trouveraient dans l'emploi des bétons agglomérés des avantages non moins grands de salubrité, de bien-être et de moralité: maisons rendues

incombustibles par la suppression des bois dans la construction des planchers et des toitures, où il serait remplacé par du béton; logements plus sains et à meilleur marché; fosses d'aisances, égouts sans fissures et sans joints, par conséquent sans fuites; dallage des rues et des cours ne permettant plus aucune infiltration; tubes à eau et à gaz, sans joints, sans pertes, par conséquent ne donnant plus lieu aux émanations sulfureuses empestées qui infectent les villes en y répandant incessamment des germes de mort ou de maladie: tels sont, entre bien d'autres avantages, ceux que pour les villes on peut attendre des bétons agglomérés

Que l'on joigne à tous ces avantages de sécurité, de salubrité, d'économie et de bien-être, et par conséquent de moralité, la possibilité de faire à très-peu de frais le bétonnage des routes et chaussées, les citernes et réservoirs, tubes et aqueducs, les ponts, ponceaux et viaducs, les digues et barrages, les travaux à la mer, les constructions économiques des chemins de fer d'après un système complétement nouveau, le tout à l'état monolithique, sans joints, sans fissures, et dans un état de dureté, de densité, d'imperméabilité, de résistance aux chocs, aux frottements, aux courants d'eau, à l'action dissolvante de l'eau de mer, et surtout aux gelées, on reconnaîtra que l'art de faire de la pierre avec du sable et de la chaux est une véritable conquête pour l'art de bâtir, et est appelé à rendre des services aussi nombreux qu'importants à la société.

De tout ce qui précède, il résulte, ainsi que nous le disions au début, que les lois de l'hydraulicité, si bien élucidées par M. Vicat, étaient insuffisantes pour expli-

quer théoriquement la prise initiale et la dureté finale que les mortiers et les bétons peuvent atteindre par l'emploi des procédés que nous préconisons, c'est-à-dire l'élimination de l'eau, le mélange et le broyage parfaits, l'agglomération énergique, et ensuite la dessiccation, la carbonatisation et l'incrustation, puisqu'elles laissaient en dehors les conditions nécessaires pour résister aux gelées, aux infiltrations, à l'action dissolvante de la mer, aux chocs, aux frottements, aux roulements des voitures.

Non-seulement au point de vue théorique, la connaissance de la loi de l'hydraulicité était impuissante pour expliquer tous les phénomènes, mais elle l'était plus encore au point de vue pratique, puisque les constructeurs, ingénieurs, architectes, tout en n'employant que la chaux de bonne qualité, et ayant les doses les plus exactes d'argile, tout en se conformant le plus possible aux conditions généralement adoptées, ont été réduits à renoncer à l'emploi des bétons, pour les constructions à l'air, à ne s'en servir que sous le sol, ou sous l'eau, et à n'oser bâtir à la mer qu'en se résignant à l'emploi onéreux de la seule chaux du Theil et aux ciments de Portland.

A plus forte raison devaient-ils renoncer à employer les bétons pour construire à l'état monolithique des aqueducs, des réservoirs, des habitations, des ponts, des digues ou tous autres travaux qui, bâtis en bétons ordinaires, ne sauraient résister aux infiltrations et aux gelées ;

Tandis que, par les procédés que nous venons de décrire, sans contredire en rien la loi de l'hydraulicité, découverte par M. Vicat, mais bien au contraire en la

complétant, on reconnaît que pour peu qu'une chaux soit hydraulique, qu'elle ait seulement cinq à six pour cent d'argile, ou bien pour peu qu'on y ajoute une infime proportion de ciment, on obtient une prise initiale, une dureté finale, dix fois, vingt fois, cent fois plus grande que par les procédés ordinaires, laquelle permettra aux maçonneries faites par ce procédé de résister à toutes les causes de destruction, bien mieux que ne sauraient faire les meilleures maçonneries de briques ou de pierres.

Malgré la brièveté du travail que nous osons présenter à l'Académie des sciences, brièveté trop grande pour un si vaste sujet, nous espérons avoir réussi à démontrer en quoi et la théorie et la pratique des bétons agglomérés se distinguent des théories acceptées et des procédés ordinaires, et pour justifier la qualification audacieuse que nous n'avons pas craint de donner à leur emploi : d'être la révolution dans l'art de construire.

En effet, n'est-ce point une révolution que de pouvoir à volonté, en tous temps, en tous lieux, avec toutes les chaux et tous les sables, faire de la pierre artificielle, beaucoup moins coûteuse que la pierre naturelle, et capable de résister à toutes les causes de destruction ?

N'est-ce pas une révolution que de pouvoir donner par le moulage, à cette pâte de pierre résultant d'un simple mélange de sable et de chaux, toutes les formes exigées par l'art ou par les circonstances?

N'est-ce pas une révolution que de pouvoir, par des additions successives de béton aggloméré, ajouter le travail de chaque jour au travail de la veille, de telle manière que toute construction, quelle que soit sa masse, ne forme qu'un seul bloc, un véritable monolithe?

N'est-ce pas une révolution que de pouvoir obtenir, à peu de frais, les travaux d'art les plus hardis à l'état monolithique, sans joints, sans fissures, sans retraits, et inaltérables aux injures du temps?

N'est-ce pas une révolution que d'obtenir des travaux d'hydraulique absolument imperméables et insensibles à toutes les causes de destruction?

N'est-ce pas une révolution que de pouvoir se servir de toutes les chaux et de tous les ciments pour les constructions à la mer?

N'est-ce pas une révolution que d'obtenir des duretés assez grandes pour permettre la confection des trottoirs et des chaussées?

N'est-ce pas, encore une fois, une révolution que de pouvoir, à si peu de frais, apporter aux populations, dans les villes comme dans les champs, la propreté, le bien-être, la moralité?

N'est-ce pas la révolution que de pouvoir, partout où se trouvent du sable et de la chaux, et sans ouvriers d'art, faire les constructions les plus hardies, puisqu'on obtient toujours à l'état monolithique une maçonnerie absolument homogène et équilibrée, aussi dure que la meilleure pierre naturelle, mais bien plus solide par le fait du monolithisme?

En face de tant de conséquences de si haute portée, ce mot de *révolution* n'a rien de présomptueux ; et c'est dans cette conviction que nous avons osé appeler l'attention de l'Académie des sciences, soit au point de vue scientifique, puisque nous croyons avoir élucidé, démontré une théorie nouvelle, sinon un complément oublié à la théorie de M. Vicat; soit au point de vue de

notre candidature pour le prix Montyon, puisque nous avons la conviction que l'emploi du procédé que nous venons de décrire est de nature à rendre non-seulement les plus grands services à l'art de construire, mais bien plus encore à augmenter la sécurité, le bien-être, la salubrité, la moralité des populations.

L'importance des résultats que nous venons de signaler nous fera pardonner d'avoir appelé l'attention de l'Académie des sciences sur nos procédés, et d'avoir osé porter notre candidature au prix Montyon.

APPLICATIONS

DES

BÉTONS AGGLOMÉRÉS.

APPLICATIONS

DES

BÉTONS AGGLOMÉRÉS.

Du mémoire qui précède, adressé à l'Académie des sciences, il résulte que, par les procédés qui y sont décrits, et au moyen d'un simple mélange de sables, de chaux, de pouzzolanes et de ciments quelconques, mais en se conformant aux conditions indiquées, on obtient une pâte de pierre, capable de résister à toutes les causes de destruction et de recevoir par le moulage toutes les formes voulues.

Cette possibilité de faire de la pierre entraîne pour l'art de construire les conséquences les plus remarquables et les plus importantes.

En effet, selon qu'on moulera cette pâte de pierre dans des moules spéciaux, hors du lieu où elle devra être employée, par conséquent par un moulage antérieur à l'emploi, ou qu'on la moulera immédiatement, directement sur la maçonnerie même qu'il s'agit d'édifier, on créera deux branches bien distinctes d'emploi des bétons agglomérés.

Dans le premier cas, si dans des ateliers spéciaux on moule de menus blocs séparés, des pavés, des dalles, des marches d'escalier, des briques, des parpins, des cubes plus considérables, des pierres avec ou sans or-

nement, on aura, par ce moyen industriel, donné naissance à des pierres artificielles, ayant reçu par le moulage la forme que la taille donne aux pierres, et que, comme les pierres ordinaires, il faudra porter ensuite à pied d'œuvre, prêtes à être employées.

Ces pierres artificielles, susceptibles de recevoir un fini complet et les formes les plus élégantes au besoin, peuvent purement et simplement, mais avec une grande économie, être substituées à la pierre de taille, au moellon, à la brique.

La préparation des pierres artificielles moulées constitue l'une des deux grandes branches d'emploi des bétons agglomérés, et n'apporte d'autres changements aux procédés de bâtir actuellement en usage, sinon de substituer de la pierre artificielle moulée à de la pierre naturelle taillée.

Mais si, au contraire, on porte le béton à l'état de pâte ferme et plastique sur la maçonnerie même qu'il s'agit de bâtir, et qu'on le soumette à une vigoureuse agglomération exercée sur cette maçonnerie elle-même, par ce moyen on pourra construire à l'état monolithe les masses les plus gigantesques; et, par la suppression de tous joints, tassements et retraits, on aura réalisé sur la maçonnerie ordinaire une économie, une solidité, une force de résistance dont ne peuvent approcher même les meilleures constructions de pierres de taille.

Ce mode de moulage et d'agglomération des bétons sur le mur même constitue la seconde branche d'emploi, et de beaucoup la plus importante, sinon au point de vue des avantages industriels, au moins au point de vue de l'art et de l'importance des applications.

Cette importance est d'autant plus grande qu'elle n'a pas d'analogie dans les moyens actuels de construction.

Par les moyens ordinaires, en effet, même avec les pierres de taille les plus volumineuses, à plus forte raison avec le moellon et avec la brique, une maçonnerie est toujours pleine de joints de plâtre ou de mortier, lesquels s'écrasent en entraînant des tassements, se dissolvent au contact de l'air, se désagrègent aux intempéries, donnent passage aux infiltrations; tandis qu'avec le béton aggloméré, moulé sur le mur même, on obtient une maçonnerie monolithe, sans aucuns joints, sans fissures, sans retraits, par conséquent étanche, imperméable, insensible aux intempéries et sans tassements possibles.

Nous allons examiner successivement l'une et l'autre de ces deux branches de l'art de construire au moyen des bétons agglomérés.

DES

PIERRES ARTIFICIELLES

MOULÉES

EN BETONS AGGLOMÉRES.

DES

PIERRES ARTIFICIELLES

MOULÉES

EN BÉTONS AGGLOMÉRÉS.

Si on prend de la pâte de pierre, préparée d'après nos procédés, qu'on l'introduise par couches minces dans des moules de capacité ou de forme quelconque, qu'on la soumette à l'agglomération exercée par le choc répété d'un corps dur et pesant, mû par main d'homme ou par des machines spéciales, ce moule se remplira peu à peu de cette pâte de pierre, qui occupera exactement tout l'espace vide en en prenant la forme, quelle qu'elle puisse être, avec ou sans détails d'ornementation.

Une fois le moule plein et plané, la pâte est assez ferme pour qu'on le démonte immédiatement, et le moule enlevé laisse une pierre qui représente exactement la forme, le cube, les détails qu'offrait l'intérieur du moule, et qui acquiert en fort peu de temps la dureté de la meilleure pierre naturelle, même celle des calcaires jurassiques et du granit.

Il est facile de concevoir que si le moule porte des ornements, des moulures en creux ou en relief, pourvu qu'on réserve une dépouille suffisante, le béton aggloméré reproduira fidèlement, exactement, les moulures

et les ornements les plus délicats, les plus variés, de telle sorte qu'avec le même moule il sera possible de reproduire la même forme indéfiniment; à ce point de vue, ce procédé est à la construction ce que l'imprimerie est à l'écriture, et tend, comme la gravure, la lithographie, la photographie, à vulgariser l'art en le mettant à la portée de toutes les fortunes.

Aujourd'hui l'ornementation sur la pierre exige le travail d'ouvriers distingués, d'artistes; chaque pierre de taille est une œuvre originale, tandis qu'au moyen du béton aggloméré, par le moulage et en choisissant des formes dignes de l'art, le plus vulgaire manœuvrier pourra les reproduire indéfiniment, ce qui, on le conçoit, réduira le prix de revient en toute proportion, à ce point que des pierres moulées, soit parce que le béton aggloméré coûte beaucoup moins cher que la pierre de taille, soit parce que la forme donnée par le mouleur ne coûte rien, tandis que la sculpture coûte beaucoup, ces pierres moulées, disons-nous, ne coûteront pas la moitié de la pierre naturelle sculptée, tout en donnant des bénéfices considérables au producteur de pierres artificielles.

Ceci étant admis, on comprendra facilement que l'on peut par le moulage obtenir des embrasures de portes et de fenêtres portant toute espèce d'ornements, d'arabesques et autres en demi-relief; des corniches, des balcons, des balustrades, des pilastres, des colonnes, enfin toutes les formes exigées par l'art, et que ce genre de fabrication, dans tous les centres de population, peut devenir une branche d'industrie importante et lucrative.

Si l'on peut obtenir la pierre ornée, à plus forte raison obtiendra-t-on la pierre cubique simple, quelle que soit sa dimension : aussi pourra-t-on faire toute espèce de pierre, depuis la plus dure jusqu'à celle du plus bas prix, de manière que l'on puisse par leur emploi élever toute espèce de construction sans avoir rien à y retoucher, rien à tailler, de telle sorte que non-seulement la pierre de béton aggloméré coûterait moins cher que la pierre naturelle, mais encore l'économie serait accrue de toute la suppression de la taille, qui serait remplacée par le moulage.

Par ce procédé les pierres ornées ou non pourraient être exécutées sur commande ; l'architecte donnerait ses dessins ; quelques jours après, la pierre confectionnée serait rendue à pied d'œuvre.

Le béton aggloméré et moulé à l'état de pierre artificielle peut avoir bien d'autres emplois : ainsi l'on peut faire des auges de toutes dimensions, des pierres d'éviers, etc. ; mais encore la dureté peut être à volonté si grande que l'on peut confectionner par ce moyen des pavés, des dalles, des marches d'escalier, des bordures de trottoirs ; en un mot, on peut facilement fabriquer toutes les pierres qui exigent la plus grande dureté.

Si, au lieu d'une extrême dureté, on ne veut obtenir que la dureté des bons calcaires ou de la bonne brique, il deviendra possible, par un simple mélange de sable et de chaux, d'obtenir par nos procédés une pâte assez plastique ou assez ferme pour pouvoir être traitée d'une manière analogue à l'argile du briquetier.

Cette pâte, ferme et plastique comme l'argile, pour-

rait être comprimée, moulée par des machines spéciales. Notamment, on pourrait faire des briquettes de béton aggloméré par les mêmes moyens avec lesquels on fait des briquettes de houille agglomérée.

Par ces procédés, à très-peu de frais, quand on se trouvera dans de bonnes conditions, c'est-à-dire quand on aura des chaux et des sables à bon marché, on pourra faire à très-bas prix des briques de toutes dimensions, et même arriver jusqu'à la grandeur et l'épaisseur des parpins ; briques et parpins qui, par leur simple durcissement à l'air, atteindront les meilleures duretés, tout en économisant la cuisson et les nombreux déplacements qu'exige la préparation des briques ordinaires.

Ces briques de béton non-seulement coûteraient bien moins cher que les autres briques d'argile cuite ; mais, de plus, elles auraient sur ces dernières l'inappréciable avantage de continuer de durcir toujours avec le temps et de pouvoir être obtenues, sans augmentation de frais, sous un volume beaucoup plus considérable ; tandis que trop souvent les briques ordinaires s'altèrent à la longue sous les influences atmosphériques, et ne peuvent être obtenues que sous de très-petits volumes ; ce qui augmente le nombre des joints, et partant les chances de tassements, de détérioration, tout en diminuant la solidité des murs et en augmentant le prix de façon de la maçonnerie.

Cet emploi des bétons agglomérés à la confection des briques, des parpins, des pierres du plus fort volume, sera d'un très-grand avantage dans tous les pays où il n'y a pas de pierres, et où les combustibles nécessaires à la cuisson des briques sont à un prix élevé.

L'application spéciale des bétons agglomérés à la fabrication des pierres artificielles de toutes sortes, et celle des briques et parpins, a une si grande importance, qu'avec nos frères et associés nous avons fondé à Saint-Denis une vaste manufacture de briques et de pierres artificielles ornées ou non, qui sous quelques mois livrera ses produits à la consommation.

Or, ce qui se fait à Paris peut se faire de même en tout autre pays.

CONSTRUCTIONS

MONOLITHES

EN BÉTONS AGGLOMÉRÉS.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMERES

A L'ÉTAT MONOLITHE

A L'AGRICULTURE.

Si les bétons agglomérés ne s'employaient qu'à faire de la pierre factice en petits blocs, devant remplacer la pierre de taille ou la brique, tout agriculteur aidé des siens, pendant la mauvaise saison, à temps perdu, pourrait, à peu de frais et en agglomérant le béton entre deux morceaux de planches, préparer à l'avance des cubes prêts à être ensuite employés au moment opportun.

Mais, nous l'avons dit plus haut, l'une des propriétés les plus importantes des bétons agglomérés étant de pouvoir souder le travail du jour au travail de la veille, de manière que toute construction devienne un véritable monolithe, il résulte de cette propriété des avantages bien plus grands pour l'agriculture.

Ainsi, à peu de frais, l'on pourra élever, en utilisant le travail des agriculteurs eux-mêmes, des maisons d'habitation saines, élégantes, spacieuses, commodes ; avec une très-faible dépense, partout où on trouvera du sable, partout où la chaux sera à bas prix, le taux de la main-d'œuvre étant peu élevé, on pourra bâtir à des prix bien inférieurs à ceux de la brique ou du moellon; ce

fait se produira surtout quand le procédé sera tombé dans le domaine public, quand il sera généralement répandu et que tous les maçons sauront en faire l'application ; quand ce moment sera arrivé, de même qu'aujourd'hui on traite à forfait avec les maçons pour faire des maisons de moellons ou de pisé, on traitera à des conditions d'autant meilleures que l'agriculteur pourra fournir sa main-d'œuvre pour l'emploi des bétons agglomérés.

Alors, des maisons agricoles à l'état monolithe, couvertes de toitures monolithes de bétons agglomérés, en forme de terrasse ou en forme de voûte, présenteront tout à la fois et l'extrême solidité, et l'inutilité à jamais de faire des réparations, jointes à la salubrité la plus parfaite, puisque la maçonnerie de bétons agglomérés ne laisse pas passer l'humidité et qu'elle est si peu conductrice de la chaleur, qu'une maison de béton reste chaude en hiver et fraîche en été, demeurant ainsi presque insensible aux influences extérieures de l'atmosphère. La salubrité de ces habitations serait encore augmentée par le dallage en béton du rez-de-chaussée, qui supprimerait toute humidité.

A tous ces avantages se joindra l'incombustibilité, puisque les toits de chaume, les planchers et les murs seront remplacés par du béton.

Tous ces avantages sont évidents et incontestables, et à la rigueur ils pourraient être obtenus même dans les lieux où il n'y aurait pas de sable ; pour cela il suffirait dans le béton de remplacer le sable par de la terre argileuse commune, aussi maigre que possible, et on traiterait le mélange comme du béton de sable.

Par ce moyen on obtiendrait un pisé broyé, corroyé, à base de chaux, lequel par l'agglomération donnerait non pas un pisé friable, pénétrable à l'eau, destructible comme le pisé ordinaire, mais bien une maçonnerie de très-bonne qualité, durcissant, il est vrai, moins vite que le béton de sable, mais acquérant promptement la dureté du très-bon moellon, tout en ayant sur lui l'avantage du monolithisme, de la solidité, de l'imperméabilité, de la résistance aux intempéries.

On conçoit l'avantage immense qui doit résulter de l'emploi de ces bétons ou de ces pisés pour l'agriculture, puisque l'application peut en être faite en tous lieux, car où il n'y a pas de sable il y a de la terre; et presque sans augmentation de dépenses, l'agriculteur par ce moyen peut obtenir une demeure comfortable, un domicile digne d'êtres humains, tandis qu'aujourd'hui il est réduit au pisé, que le moindre contact de l'eau renverse, et qui exige des réparations incessantes; ou au torchis, qui n'est pas même digne d'abriter des animaux, puisqu'il a tous les vices de la laideur et de l'insalubrité.

L'application de ce mode de bâtir à l'agriculture aurait encore ceci de précieux, qu'en supprimant l'emploi du bois, les forêts pourraient enfin se repeupler et suffire à la consommation.

Les bétons agglomérés à base de sable ou de terre argileuse ne sont pas seulement applicables aux maisons d'habitation, ils le sont évidemment encore à la construction des écuries, des greniers, celliers, hangars, etc., qui tous, pouvant avoir des toitures de bétons, seraient incombustibles.

Les écuries notamment assureraient, bien mieux que celles d'aujourd'hui, la santé et la conservation des animaux ; insensibles aux variations de température atmosphérique, chaudes en hiver, fraîches en été, à l'abri de l'humidité, elles assureraient les meilleures conditions de salubrité.

En outre, les écuries étant dallées en béton aggloméré monolithe, les excréments liquides n'humecteraient plus le sol, dans lequel, par conséquent, le pied des animaux cesserait de pénétrer : en même temps que le sol cesserait d'être imbibé d'engrais en fermentation, les émanations ammoniacales qui en résultent, si préjudiciables à la santé des bestiaux, cesseraient de se produire.

Les bétons agglomérés, appliqués soit aux écuries, soit aux autres bâtiments agricoles, habitueraient les agriculteurs à la propreté, au grand bénéfice de leur moralité, de leur santé, aussi bien que de la conservation des bestiaux.

L'emploi des bétons deviendrait la source de grands bénéfices pour le cultivateur qui, ayant le soin de daller en béton à l'état monolithe ses écuries et ses cours, ne perdrait plus une seule goutte de l'engrais liquide si précieux, lequel aujourd'hui se perd entièrement dans le sol en s'infiltrant, au grand dommage du cultivateur qui perd ainsi un engrais de grande valeur, et des animaux qui vivent constamment dans un cloaque empesté.

Par ce moyen, l'on pourra faire toutes fosses d'aisances, toutes fosses à purins ou à fumiers, tous puits, toutes citernes à eaux potables, à l'état monolithe, sans enduits, sans joints, sans fissures.

On fera encore tous aqueducs et conduits d'eau en forme de tubes ou de caniveaux, soit pour emmener au loin les engrais liquides de la ferme, soit pour y amener l'eau potable.

Outre bien d'autres applications possibles, l'agriculteur pourra employer le béton aggloméré à daller ses aires à battre le blé, à daller ses greniers et fenils, ce qui mettrait le blé et le foin à l'abri de l'humidité et des rats; il dallerait ses celliers et ateliers, ce qui conserverait la propreté.

Enfin, au moyen des bétons agglomérés, il pourra faire des silos, des foudres, des cuves, des citernes à l'état monolithe, sans joints, sans fissures, imperméables à l'eau et à l'humidité, dans lesquels il conservera ses blés, ses vins, ses huiles, application précieuse de la plus haute importance économique, et à laquelle l'avenir réserve une place immense : nous y reviendrons amplement plus loin.

Si, à ces avantages privés pour l'agriculture, on ajoute qu'au moyen des bétons agglomérés il est possible à très-peu de frais de faire toute espèce de ponts et ponceaux, d'écluses, de barrages présentant une solidité et une certitude de durée pour ainsi dire absolues, on ne peut se dispenser de reconnaître qu'un jour viendra où, lorsque ce mode de bâtir sera devenu populaire, chaque ferme un peu importante ou chaque village aura une machine à triturer le béton, comme aujourd'hui on a une charrue, une pompe à incendie.

Mais pour la vulgarisation d'un procédé aussi utile, pouvant rendre des services aussi universels et appelé à jouer un rôle si actif, si général de moralisation et de

bien-être, l'intervention du gouvernement serait peut-être nécessaire : de même qu'il a pris sous son patronage le drainage ; qu'il a créé un crédit de drainage ; qu'il a expérimenté les meilleurs procédés, les meilleures machines, pour faire les tuyaux et les mettre en place, de même, il devrait pour faire jouir plus tôt les classes laborieuses des bénéfices de ce mode de bâtir, provoquer l'enseignement de ces procédés, soit dans les hautes écoles gouvernementales, comme application aux grands travaux d'utilité publique, soit dans les écoles régionales d'agriculture ; peut-être encore serait-il possible de donner cet enseignement dans les régiments au soldat qui en rentrant au village deviendrait l'initiateur de cette méthode, laquelle, tout en apportant le bien-être à l'agriculture, donnerait au soldat un moyen d'exercer une profession honorable et lucrative, éventualité qui mérite d'attirer l'attention du gouvernement.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

A L'ÉTAT MONOLITHE

AUX HABITATIONS DES VILLES.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

A L'ÉTAT MONOLITHE

AUX HABITATIONS DES VILLES.

Les applications privées des bétons agglomérés à la construction des habitations urbaines ne sont pas moins nombreuses et importantes que pour l'agriculture.

En effet, par ce moyen une maison tout entière, murs, caves, planchers, toitures, escaliers, peut être élevée à l'état monolithe au moyen des bétons, sans qu'il entre dans la construction ni une pierre, ni une brique, ni un morceau de bois.

Pour bâtir une maison, si le terrain est bon, on moulera directement les fondations sur le terrain lui-même; mais si le sol est mouvant, comme au Havre, à Marseille et dans tant d'autres villes, au lieu d'être obligé de creuser des fondations profondes et coûteuses pour arriver au solide, d'enfoncer des pilotis, d'exagérer les épaisseurs, on pourra jeter un massif de béton aggloméré occupant non-seulement la superficie tout entière du sol de la maison, mais s'étendant au moins à un mètre en excédant tout le tour de l'espace que doit occuper cette maison.

Ce massif, selon l'importance du bâtiment à élever

et sa hauteur, devra avoir une épaisseur plus ou moins grande.

Et sur ce massif monolithe, comme on le ferait sur une dalle immense, on jettera les fondations, qui trouveront ainsi une base absolument solide; puis, sur ces fondations si bien assises, on pourra construire sans autres préparatifs les bâtiments les plus élevés.

On conçoit alors que la charge du bâtiment, étant uniformément répartie sur un massif monolithe de large surface, ne tendra plus à déplacer les terrains; par conséquent il n'y aura plus de tassements, d'autant moins qu'une maçonnerie de bétons agglomérés bien préparés résistant à dix kilogrammes et plus par centimètre à l'arrachement, aucune rupture n'aurait lieu, alors même que le terrain inférieur viendrait à se déplacer; le massif de béton par sa force de cohésion supporterait la maison sans fléchir.

Le calcul en est facile à faire : la maçonnerie de béton aggloméré pèse deux mille quatre cents kilos par mètre cube; si on donne à une maison quinze mètres de façade et vingt mètres de hauteur avec les caves, l'on trouve qu'un mur de façade, en déduisant les portes et fenêtres et en lui donnant 0,50 d'épaisseur, représente environ cent mètres cubes pesant deux cent quarante mille kilogrammes; il faudrait donc, si un tassement s'opérait sous le massif, que sa force de cohésion lui permît de supporter sans se rompre un poids de deux cent quarante mille kilos.

Si l'on a donné au massif de fondation un mètre d'épaisseur, il devra avoir, pour une façade de quinze mètres, une longueur de dix-sept mètres, puisque nous

avons dit que la dalle monolithe formant massif général devait déborder la maçonnerie en élévation d'un mètre dans tout son pourtour.

Comme chaque mètre de massif présente dix mille centimètres carrés, un massif de dix-sept mètres de longueur sur un mètre d'épaisseur donnerait donc une superficie de cent soixante-dix mille centimètres carrés.

Or, le béton aggloméré offrant à l'arrachement une résistance de dix kilos par centimètre et au delà, il en résulte que le massif, présentant une résistance totale par lui-même de un million sept cent mille kilos, aurait une force bien plus que suffisante pour supporter sans rupture un poids de deux cent quarante mille kilos.

Si ce mode de préservation contre les tassements était employé pour les constructions ordinaires en pierres ou en briques, on ne verrait pas, par exemple, le palais des Tuileries et la galerie du Louvre menacer ruine, deux siècles seulement après leur construction; on ne serait pas obligé de rebâtir les pavillons de l'Institut.

Un massif de ce genre, par l'imperméabilité du béton aggloméré, aurait encore l'avantage d'empêcher les infiltrations d'eau, résultat que ne peut présenter le béton ordinaire, lequel est perméable et toujours rempli de fentes par les retraits; on en peut juger par les résultats du bétonnage général, sur lequel a été construite la caserne du Prince-Eugène.

D'un autre côté, si sur ce massif imperméable on élève les fondations formant comme pourtour général de la construction un mur plein sans ouvertures, ce mur étant lui-même imperméable aussi bien que les voûtes des caves, on obtiendra par ce moyen des sous-sols inac-

cessibles à l'eau, alors même que l'eau s'élèverait jusque au-dessus du sol; si les habitations avaient des caves ainsi préparées, on n'aurait pas vu, pendant des années, la moitié des caves de Paris à peu près submergées, et les inondations subites ne causeraient plus les dommages qu'elles entraînent actuellement.

Pour rendre étanches les caves des maisons à bâtir sans massif sur bon terrain, il suffirait de construire le pourtour en murs imperméables de béton aggloméré, et de recouvrir ensuite la surface du sol inférieur d'une couche de béton formant dallage; par ce moyen, même dans les lieux humides, les caves seraient saines et sèches.

Si des caves entières peuvent être imperméables, à plus forte raison fera-t-on des citernes à eau potable, des fosses d'aisances à l'état monolithe, sans joints, sans fissures, sécurité qui n'existe pas aujourd'hui.

Il n'est ignoré de personne que, par les procédés actuels, rien n'est plus difficile que de confectionner des fosses d'aisances parfaitement étanches: un jour ce sont des lézardes qui se produisent; un autre jour les enduits se détachent ou se gercent, de telle sorte que, malgré la surveillance de l'autorité, malgré l'épaisseur considérable des murs exigée, malgré la pierre meulière, malgré les jointoyages attentifs, malgré les enduits épais en ciments, le sous-sol des villes est complétement et constamment infecté, au grand détriment de la salubrité publique; .

Tandis que les expériences officielles que nous avons faites pour la ville de Paris démontrent que des fosses d'aisances, faites en béton aggloméré, sans enduits, sans

jointoyages, présentent une étanchéité parfaite, bien que l'épaisseur des parois ait été réduite à vingt-cinq centimètres, c'est-à-dire à moins de moitié de celle exigée pour la maçonnerie et les moyens ordinaires ; et ce résultat est inévitable, puisque chaque fosse forme une seule pierre, un véritable monolithe sans enduits, sans joints, sans fissures.

Cette résistance, cette étanchéité, officiellement constatées pour les fosses d'aisances, se produiraient de même et par la même raison pour toutes citernes et révoirs d'eau.

Sur les caves étanches seraient jetées des voûtes monolithes, ou plutôt des planchers horizontaux en béton aggloméré; si on jette des voûtes, on conçoit que, par la dureté des bétons et le monolithisme, il sera possible d'étendre la portée des voûtes, d'en diminuer l'épaisseur et d'en surbaisser les arcs autant qu'on le voudra.

Si, au contraire, on désire employer les planchers horizontaux, on gagnera beaucoup de place.

Les planchers de béton aggloméré, qui, lorsqu'ils terminent le faîte d'une maison, forment des terrasses inaccessibles aux intempéries, sont une innovation dans l'art de bâtir.

En effet, dans le système actuel de planchers en fer, la charge des planchers repose sur le fer, auquel on doit donner une très-grande force de résistance, afin qu'il ne plie pas sous le poids, nécessité qui entraîne des dépenses très-considérables.

Dans les planchers de béton aggloméré, la charge ne repose pas sur les poutrelles de fer ; elle repose sur les

murs, et les poutrelles ne sont rien autre chose que des tirants, assez solides néanmoins pour qu'en cas de rupture le plancher ne puisse s'écrouler.

Pour faire un plancher ou une terrasse de béton aggloméré, on pose sur les murs, également de béton, des poutrelles en fer à double T; la force, la hauteur de ces poutrelles sont proportionnées à la portée des planchers; ces poutrelles sont fendues et ouvertes à leurs deux extrémités, de manière à former tirant.

Une portée de quatre mètres exige des poutrelles de huit centimètres de hauteur.

Cinq mètres exigent douze centimètres.

Six mètres en exigent seize.

Sept mètres en exigent vingt.

Huit mètres en exigeront vingt-quatre.

Ces poutrelles sont ordinairement espacées de mètre en mètre, de telle sorte qu'un plancher de cinq mètres de largeur sur six de longueur exigerait cinq poutrelles de douze centimètres les plus minces possible.

Les poutrelles sont reliées entre elles par des tringles en fer de quinze à dix-huit millimètres de diamètre, ayant des écrous à chaque bout.

Le tout forme une espèce d'échiquier, ayant des cases d'un mètre.

Sous ce réseau de fer on établit un faux plancher en bois à cinq ou six centimètres de distance de la partie inférieure des poutrelles.

Sur ce faux plancher on verse le béton par couches minces et successives, on le pilonne vigoureusement, et il s'élève peu à peu jusqu'à atteindre les poutrelles,

à les envelopper entièrement, et enfin à les recouvrir d'une couche de cinq à six centimètres.

En terminant cette couche supérieure il ne reste qu'à planer et lisser à la truelle.

Au bout de quelques jours, le béton ayant acquis la dureté de la pierre, on démonte le faux plancher, et il reste une véritable dalle de béton formant plafond par-dessous et carrelage par-dessus.

Un plancher de quinze à vingt mètres superficiels aura une épaisseur de vingt centimètres.

De vingt à vingt-cinq mètres, il en aura vingt-deux à vingt-quatre.

De vingt-cinq à trente-cinq mètres, vingt-sept.

L'épaisseur augmente avec la portée.

Dans ce système de planchers, la ferrure est complétement emprisonnée dans une dalle de pierre dure qui est saisie elle-même entre les bords du double T. On conçoit donc qu'une ferrure ainsi logée dans de la pierre ne peut plier sans que la pierre plie elle-même; mais la pierre ne peut plier, c'est-à-dire se rompre, qu'en écartant les murs, ce qui ne peut avoir lieu, parce que chaque poutrelle forme tirant de mètre en mètre.

Aussi la résistance de ces planchers est-elle vraiment excessive et leur solidité à toute épreuve. Nous avons pu charger un plancher de vingt-cinq mètres superficiels, de vingt-cinq mètres de sable de rivière mouillé sans le rompre.

Des planchers de ce genre, imperméables, incombustibles, absolument insensibles aux intempéries, doi-

vent surtout être employés au-dessus des caves et même des rez-de-chaussée, où l'on pourrait alors sans crainte établir des industries produisant de l'humidité, telles que teintureries, buanderies, etc., dont les vapeurs ne feraient que consolider les murs de béton.

Mais l'emploi le mieux indiqué, le plus remarquable de cemo de de planchers, est d'en faire des toitures en terrasse.

Il n'est pas besoin de faire longuement ressortir les avantages des toitures en forme de terrasse : accès facile, incombustibilité, promenade au besoin, réparations sans danger, et bien d'autres encore.

Toutefois, malgré ses avantages, ce mode de toiture est peu usité, parce que dans les climats du Nord l'on ne possède pas de moyens pratiques de faire des terrasses durables et étanches ; toutes, en fort peu de temps, sont disloquées par les intempéries.

Si l'on se sert de métal, plomb ou zinc, non-seulement la dépense est très-considérable ; mais encore, par les dilatations successives et multipliées qu'entraînent les variations atmosphériques, le métal se plisse, puis il se coupe, et enfin il donne accès à la pluie ou bien au soleil : le contact du métal échauffé est très-désagréable.

Si l'on couvre en asphalte, c'est bien pis encore ; et si on couvre en dalles, alors il faut des planchers de soutien extrêmement solides, ce qui n'empêche pas les tassements et le brisement des joints des dalles par la gelée, la dilatation ou autre cause.

Rien de tout cela ne se présente avec un plancher monolithe de béton : point de retraits, point de fissures,

point de contact désagréable à la chaleur, point de réparations.

Un toit est une dalle à l'état monolithe qui abrite et couvre toute la maison; couverture d'autant plus solide que son pourtour repose en pleins murs et forme la corniche.

Le tout d'un seul bloc.

Toiture si solide qu'elle permettra d'établir des jardins sur les toits, ce qui sera pour la population une source permanente d'agrément et de salubrité.

Ces toitures, insensibles aux intempéries, ont sur les autres systèmes de toitures le triple avantage de n'être pas bonnes conductrices de la chaleur, ce qui fait que les combles seront aussi agréables à habiter que les appartements inférieurs. Elles seront d'une durée presque éternelle, puisque l'action du temps ne fait que les consolider, ce qui fait qu'elles n'exigeront jamais aucune réparation.

Enfin elles coûtent beaucoup moins cher que tout autre genre de toiture.

Le béton aggloméré peut rendre encore d'autres services dans les habitations; il peut servir à daller les caves, les rez-de-chaussée, les cours, les écuries, les corridors, les cuisines, les combles; en un mot, il peut remplacer avec un immense avantage d'économie, de durée et de solidité, tous pavages, dallages, carrelages, asphaltages, puisque la dureté est assez grande pour résister au roulement des voitures, aux attaques du pied des chevaux dans les écuries, et que par le monolithisme il ne peut être sujet aux dégradations, comme les dalles ou les carreaux.

Des dallages en béton peuvent recevoir la peinture comme le carrelage.

De ce qui précède il résulte que, par les massifs de fondation, les caves étanches, les voûtes surbaissées, les murs monolithes, les planchers et toitures en béton, les dallages monolithes, l'emploi du béton aggloméré, par l'extrême solidité et l'extrême bon marché, est appelé dans l'avenir à jouer un grand rôle dans l'art de construire, car une maison monolithe en béton aggloméré dépasse de beaucoup en solidité toute maison en pierre de taille, à plus forte raison en briques ou en moellons.

Dans tous les cas, alors même qu'au point de vue de l'art on ne pourrait pas employer le béton monolithe pour la façade, il y aurait toujours un immense avantage à construire les autres murs, toute la partie du sous-sol et la toiture, ce qui constituerait, on le conçoit, une industrie immense et lucrative.

L'emploi des bétons agglomérés pour la construction des maisons d'habitation dans les villes ne laisserait rien à désirer si le moulage en grand, opéré sur le mur même, permettait d'obtenir facilement des moulures parfaitement régulières et à arêtes vives; ce résultat, malheureusement, ne peut s'obtenir qu'avec une difficulté si grande, que dans la pratique il est nécessaire d'y renoncer; on conçoit en effet que des moules placés à grande hauteur sont peu maniables et peu susceptibles d'un ajustement parfait.

La construction monolithe de bétons agglomérés exige donc que l'ornementation des maisons soit faite après coup, au moyen d'enduits de plâtre ou de ciment,

ce qui, nous le reconnaissons, devient presque une impossibilité pour toute construction monumentale.

Il est vrai que la difficulté pourrait être tournée en construisant les façades ornementées, en pierres artificielles de béton aggloméré, qui, moulées préalablement, pourraient recevoir du moulage tout le fini désirable.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

A L'ÉTAT MONOLITHE

AUX TRAVAUX DES MUNICIPALITÉS.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMERÉS

A L'ÉTAT MONOLITHE

AUX TRAVAUX DES MUNICIPALITÉS.

Comme travaux municipaux, nous comprenons plus particulièrement les citernes et réservoirs d'eau, les égouts, les aqueducs, les tuyaux à eau ou à gaz, les trottoirs, les chaussées, les rues souterraines.

Tous ces travaux de la plus haute importance, soit pour la salubrité des villes, soit par les dépenses énormes qu'ils entraînent, trouvent dans les moyens de construction actuels et malgré la dépense considérable qu'ils entraînent, une perfection et une durée insuffisantes; ils trouveront dans l'emploi des bétons agglomérés une réduction considérable dans le prix de revient et la perfection qui leur manque.

Pour les citernes à eau, le béton aggloméré donnera pour chacune d'elles un véritable monolithe, sans aucuns joints, sans fissures, complétement imperméable, quoique n'ayant aucun enduit; ces citernes, qui coûteront bien meilleur marché que par les procédés ordinaires, seront parfaitement étanches et n'exigeront jamais aucune réparation.

Quant aux grands réservoirs d'eau dont les récentes

déconvenues de Bordeaux et du Havre ont fait voir toutes les difficultés et toute l'importance, en prouvant l'imperfection des systèmes actuellement en usage dans les constructions, nous en parlerons amplement plus loin, lorsque nous nous occuperons des grands travaux des ponts et chaussées, et que nous démontrerons la supériorité des bétons agglomérés en tant que résistance à la pression des eaux.

En ce qui concerne les égouts, dont il a été fait un spécimen parfaitement réussi à Paris, à l'angle de la rue de Poitiers, les bétons agglomérés permettent une exécution au moins aussi rapide que par les procédés actuels. Ils présentent sur le prix en usage une très-large économie. Ils sont sans joints, sans fissures et complétement imperméables, bien qu'ils n'aient aucun enduit. Ils n'exigeront jamais aucune réparation, et, par leur force de cohésion, qui atteint et dépasse au besoin dix kilogrammes par centimètre carré, ils donneront une résistance bien plus grande que ceux construits par les procédés ordinaires, aux tassements des terrains et à la poussée des terres.

Si les bétons agglomérés étaient employés à la confection des tubes à eau et à gaz, leur supériorité apparaîtrait bien plus grande encore.

Jusqu'à ce jour, les tubes en fonte ayant des joints au plomb comprimé, paraissent seuls avoir donné des résultats complétement satisfaisants ; les tubes en poterie et en ciments, dont les joints sont difficiles à faire, ont dû être rejetés par suite de leur rupture facile aux moindres tassements du sol.

Mais les tubes de fonte coûtent fort cher; ils

s'oxydent rapidement, et les joints au plomb sont fort coûteux.

Si ces tubes à eau et à gaz étaient faits en bétons agglomérés, en premier lieu ils coûteraient plus de la moitié moins cher que ceux de fonte ; comme eux ils seraient imperméables, et sur eux ils auraient l'avantage de n'avoir aucuns joints et d'éviter ainsi la dépense que les joints entraînent et les pertes d'eau ou de gaz qui en résultent souvent.

Sur les tubes en fonte ils auraient encore l'incontestable avantage de ne se détériorer jamais, le temps, qui oxyde la fonte, ne faisant qu'augmenter la dureté, la résistance du béton et son imperméabilité.

S'il ne s'agissait que d'économie, de durée, d'imperméabilité, la supériorité des bétons serait de toute évidence ; mais des tubes doivent résister au choc des coups de bélier quand il s'agit d'eau, et ils doivent aussi ne pas se rompre sous la pression des terres.

A cet égard on pourrait bien objecter que, même avec la fonte, il n'est point rare d'avoir des tubes brisés par la pression de l'eau, des conduites déplacées par la pression des terres; mais cette critique n'est point une solution, et nous reconnaissons qu'il faut pouvoir aborder le problème tel qu'il est, dans toute son étendue et sans l'amoindrir, et qu'il faut s'abstenir si l'on ne peut le résoudre d'une manière complète.

Les tubes à eau et à gaz en bétons agglomérés peuvent-ils résister au choc du bélier, à la pression des terres aussi bien que ceux de fonte ?

Nous répondrions à l'instant oui, si les tubes de fonte n'avaient pas leurs joints élastiques en plomb, ce qui leur

permet de subir une certaine flexion sans se rompre; car les bétons ayant une résistance de dix kilos et plus à l'arrachement, il suffirait de leur donner une épaisseur assez grande pour équivaloir à la résistance de la fonte.

Il faut l'avouer, la rigidité des tubes de béton, privée de l'élasticité des joints au plomb que possèdent les tubes de fonte, ne présenterait pas peut-être des conditions suffisantes de résistance dans le cas où le coup de bélier se produirait par des colonnes d'eau puissantes, et par l'interruption subite d'un écoulement considérable, quoiqu'il soit possible d'affirmer sans crainte qu'elle suffirait largement au choc d'une pression d'eau qui ne dépasserait pas une ou deux atmosphères.

Mais des moyens certains se présentent qui peuvent donner au béton toute garantie de résistance suffisante.

Ces moyens consistent à introduire dans la pâte du béton même et pendant sa confection une toile métallique à larges mailles, au travers desquelles le béton pénétrerait en se soudant; cette toile métallique, repliée sur elle-même pour avoir forme de tube, emprisonnée dans l'intérieur du béton, donnerait certainement une prodigieuse résistance à l'arrachement, résistance plus que suffisante pour vaincre les coups de bélier et les tassements du sol.

Au lieu d'une toile métallique, il est encore possible, avec un succès plus certain encore, d'introduire des fragments de métal, du fil de fer haché, des matières textiles qui, broyées et agglomérées avec le béton lui-

même, lui donneraient une force de résistance supérieure à celle de la fonte même.

En outre de ces moyens d'un succès suivant nous assuré, la propriété du béton aggloméré de former des constructions monolithes peut donner une solution plus complète encore; il est facile de concevoir, en effet, que l'on peut établir sous le sol un bloc monolithe de béton aggloméré, d'une masse et d'une longueur illimitées, masse dans laquelle, par le moulage, on pourrait ménager des espaces vides, régnant dans toute la longueur du bloc de béton, auxquels on donnerait tout à la fois la forme d'un égout, d'un tube à eau ou d'un tube à gaz.

L'égout serait à la partie inférieure, les tubes à eau et à gaz à la partie supérieure et de chaque côté; on réserverait entre eux de loin en loin les orifices donnant accès à l'égout, de telle sorte qu'égout et tubes ainsi conjugués formeraient un tout parfaitement homogène et solidaire, un véritable monolithe dans toute leur masse et toute leur longueur; par ce moyen bien simple, et par la solidarité de masse établie entre l'égout et les tubes qui formeraient un massif de trois à quatre mètres de hauteur sur deux ou trois mètres de largeur, nuls tassements ni coups de bélier ne seraient plus à redouter, la masse étant suffisante pour résister à toutes les atteintes.

On conçoit immédiatement que le prix de revient d'un égout conjugué avec les tubes à eau et à gaz ne coûterait pas la moitié de ce que coûtent actuellement les égouts ordinaires et les doubles tubes de fonte.

La seule objection que pourrait soulever cette com-

binaison serait la difficulté qu'il y aurait à faire les prises d'eau et de gaz dans une masse aussi compacte et aussi dure qu'un bloc de béton aggloméré et que l'on ne pourrait ouvrir sans la briser.

A cela la réponse est facile : que de cinq mètres en cinq mètres l'on introduise dans la pâte même du béton, pendant la confection, des tubulures de fonte qui coûteraient à peine quelques centimes et qu'on pourrait multiplier sans dépenses autant que l'on voudrait, et par ce moyen, sans avoir jamais à percer le béton, on aurait des prises toutes faites, qui n'exigeraient qu'un simple joint pour faire le raccord.

La fixité de ces tubulures est parfaite, et leur emploi éviterait le travail pénible, encombrant et dangereux auquel il faut se livrer aujourd'hui pour perforer les tubes en fonte lorsqu'on veut prendre de l'eau ou du gaz.

Cette conception des égouts conjugués peut être poussée bien plus loin encore ; car sans la moindre difficulté on peut tout à la fois conjuguer à l'état monolithe les grands égouts collecteurs, les égouts ordinaires, les égouts pour les engrais liquides des fosses d'aisances, les tubes à eau, à gaz, à air comprimé, à télégraphes électriques, les trottoirs, de manière à obtenir encore par surcroît une rue souterraine.

Que l'on suppose que dans chaque rue l'on jette une grande voûte ayant pour portée la largeur de la chaussée, et de chaque côté de cette grande voûte une petite voûte ayant pour portée la largeur des trottoirs.

La grande voûte entre ses pieds-droits aurait un espace vide qui serait la rue souterraine.

Les petites voûtes sous les trottoirs auraient elles-mêmes un espace vide qui formerait un couloir accessible dans toute la longueur des trottoirs.

Les pieds-droits de la grande voûte seraient creux et contiendraient chacun deux égouts superposés, l'un pour les eaux vannes, l'autre pour les engrais liquides, ce qui ferait en tout quatre égouts dont les ouvertures donneraient soit dans la rue souterraine, soit dans les couloirs sous les trottoirs.

La grande voûte elle-même serait percée dans toute sa longueur de trous formant tubes, lesquels serviraient au passage de l'eau, du gaz, de l'air comprimé destiné à fournir de la force à domicile, de l'eau chaude au besoin ; dans l'un de ces espaces vides formant tubes on pourrait loger les fils télégraphiques, qui, par ce moyen, seraient parfaitement protégés.

Le nombre de trous en forme de tubes continus que l'on pourrait faire serait subordonné à leur diamètre, comme à l'étendue de la portée de la voûte ; mais il suffira de dire que plus on ferait d'égouts, de tubes, de couloirs, en un mot, plus on créerait d'utilité, moins l'on dépenserait, puisque l'on emploierait d'autant moins de béton que l'on aurait confectionné plus d'égouts et de tubes.

Quant aux prises d'eau, de gaz, d'air comprimé, d'eau chaude, de fils télégraphiques, au lieu de les faire directement, comme aujourd'hui, sur le tube même, on réserverait dans l'épaisseur de la voûte de béton et à la partie supérieure, de petits vides formant tubes, d'un très-petit diamètre, deux, trois, quatre ou cinq centimètres ; ces petits vides formant tubes traver-

seraient à angle droit la largeur de la chaussée et viendraient aboutir dans les couloirs ménagés sous les trottoirs, où ils se termineraient par des tubulures en fonte scellées pendant la confection du béton.

De telle sorte que de chaque côté des rues l'on aurait dans les couloirs ménagés sous les trottoirs une rangée de tubulures de formes différentes, avec lesquelles il serait infiniment facile de s'embrancher sans être obligé d'aller jusqu'au tube ; l'inspection de ces tubulures serait faite chaque jour par des employés qui circuleraient dans les couloirs.

Les avantages de ce nouveau système de chaussées seraient aussi nombreux qu'importants :

1° L'ensemble de cette voûte, de cette rue souterraine, de ces couloirs, de ces égouts, de ces tubes ne coûterait pas plus cher, n'entraînerait pas plus de dépenses que n'en exigent aujourd'hui le tube à eau, le tube à gaz : et l'égout seulement, avec la même dépense on aurait quatre égouts au lieu d'un ; quatre, six, huit tubes au lieu de deux ; on aurait en outre pour rien une rue souterraine et deux couloirs sous les trottoirs. Cette conception n'est possible que par l'emploi des bétons agglomérés ; car, avec les matériaux ordinaires, le monolithisme ne pouvant être obtenu, il y a impossibilité matérielle, alors même que l'on dépenserait dix fois plus.

2° La rue souterraine qui serait réservée sous la grande voûte désencombrerait la circulation des grandes villes, soit en y faisant passer les voitures de service, soit en y établissant des chemins de fer.

3° La salubrité des villes serait accrue en toute proportion, soit parce que les eaux pluviales glisse-

raient sur le sommet de la voûte de béton pour se rendre dans les égouts latéraux, ne pouvant plus détremper le sous-sol des rues, ainsi qu'il arrive aujourd'hui ; soit en évitant les fuites d'eau et de gaz qui empestent le sol, et qui au contact des eaux de pluie transforment tout le sous-sol des grandes villes en marais empestés, par les eaux stagnantes saturées de sulfures et d'hydro-carbures auxquels elles donnent naissance.

4° La circulation des rues ne serait plus interrompue à chaque instant, comme aujourd'hui, pour le nettoyage des égouts, pour la prise de l'eau ou du gaz ou pour les réparations, puisque l'accès des égouts se trouvant dans la rue souterraine ou dans les couloirs, on s'introduirait dans les égouts par des portes latérales : quant aux prises d'eau et de gaz, il n'y en aurait plus sur les chaussées, elles se feraient dans les couloirs.

5° Par la construction de ces chaussées voûtées on aurait, sans plus de dépenses, plusieurs égouts au lieu d'un seul, ce qui permettrait d'utiliser les engrais liquides qui se versent aujourd'hui dans les rivières au grand dommage de l'agriculture ; on aurait plusieurs tubes à gaz ou à eau, ce qui permettrait les réparations sans interrompre le service ; et enfin on aurait le long de chaque maison un couloir qui assainirait beaucoup le sous-sol.

Tous ces avantages sont de la dernière évidence, et il est permis de croire que la salubrité des villes sera un jour accrue par ce moyen nouveau qui n'est concevable que par l'emploi du béton aggloméré.

TROTTOIRS

ET

DALLAGES.

La confection des trottoirs et dallages est sans contredit l'une des applications les plus remarquables et les plus importantes du béton aggloméré.

Tout le monde sait que les trottoirs se font aujourd'hui en dalles ou en asphalte. S'ils sont en dalles, ils coûtent un prix exorbitant, ils s'usent rapidement et inégalement, la gelée en casse les joints, l'eau s'infiltre par-dessous, tasse les terres et soulève les dalles en cas de gelée.

S'ils sont en asphalte, ils coûtent cher encore; ils s'amollissent en été, se fendent en hiver, s'usent rapidement, exigent d'incessantes réparations qui ne peuvent avoir lieu qu'en encombrant les rues et en infectant l'air.

Au moyen des bétons agglomérés, les trottoirs forment un tout monolithe, sans joints, sans fissures. Le prix en est beaucoup moins cher que celui des dalles et de l'asphalte; leur confection ne demande pas plus de temps pour être livrés à la circulation que celle des trottoirs d'asphalte; ils sont pour ainsi dire inusables; ils ne craignent absolument rien ni du soleil, ni de la pluie, ni des plus rudes gelées; le temps et le service ne font que les améliorer; leur confection se fait sans odeur aucune, et, ce qui n'est pas moins précieux, sans encombrement, puisque la matière, le béton,

arrive tout préparé, tout broyé et n'ayant plus qu'à être aggloméré sur place.

Ce genre de dallage monolithe en béton aggloméré présente une si grande dureté, qu'il peut être employé avec un succès complet à tous dallages de cours, d'écuries, de rez-de-chaussée, car il résiste au roulement des voitures, aux pieds des chevaux, ou au frottement des piétons, et son imperméabilité est si complète, qu'elle suffit pour assainir les caves et les rez-de-chaussée les plus humides.

CHAUSSÉES

ET

PÀVAGES.

Il est peu de charges plus lourdes pour les municipalités que la création et l'entretien des voies de circulation ; s'agit-il de pavages, si les pavés sont trop durs, ils se polissent, le pied des chevaux glisse, ce qui rend les chaussées impropres à la circulation par suite des dangers qu'elles présentent; si les pavés sont moins durs, ils s'usent rapidement, s'arrondissent, s'écrasent, ce qui fait que les voitures roulent non sur une surface plane, mais bien sur des espèces de boules, de telle sorte que chaque pavé ne peut être franchi qu'au moyen d'une chute produisant un choc violent, qui amène tout à la fois l'écrasement du pavé, la destruction du matériel roulant et la plus pénible trépidation pour le voyageur.

D'un autre côté, par la multitude de joints du pavage, les eaux pluviales s'infiltrent, pénètrent profondément le sous-sol, après avoir dissous, au passage, des quantités de matières organiques qui, au contact des fuites sulfureuses et ammoniacales du gaz, transforment le sous-sol des villes en un vaste marécage en pleine putréfaction, au grand détriment de la salubrité publique.

Et pourtant, malgré ces graves inconvénients et malgré son prix très-élevé, le pavage, par sa longue durée, par le peu de réparations qu'il exige relativement au

macadam, est encore le procédé le plus généralement adopté.

Quant au macadam, s'il a pour avantage d'offrir dans les beaux jours une surface ferme et unie, il a pour inconvénients de produire une poussière infernale en été, que l'on ne peut combattre qu'au prix d'arrosages incessants, une mer de boue dans les temps pluvieux et en hiver, le plus souvent une pâte gluante qui forme un obstacle sérieux à la traction au moindre brouillard.

Comme les joints du pavage, le macadam laisse filtrer l'eau dans le sous-sol, et s'il coûte moins cher de première installation que le pavage, il exige constamment de telles réparations, il faut tant arroser, tant balayer, recharger si souvent la surface, que la dépense annuelle d'entretien pour chaque mètre coûte plus cher que les frais de première installation.

Aussi le macadam est-il devenu pour les grandes villes une des plus lourdes charges de leur budget, et une des préoccupations les plus incessantes des ingénieurs et des agents voyers.

Tous ces vices du pavage et du macadam seraient conjurés par l'emploi des bétons agglomérés, disposés en couches monolithes et continues à la surface des rues et chaussées; dans ce cas les surfaces seraient dans toute l'étendue aussi unies qu'une dalle ordinaire; il n'y aurait plus de joints, partant plus d'infiltrations, plus de boue, plus de poussière, plus de réparations, plus d'encombrements.

Le roulement des voitures s'opérerait comme sur les rails des chemins de fer, c'est-à-dire sans choc,

sans cahots, sans trépidation; de telle sorte qu'une force étant donnée, de deux choses l'une, ou cette force traînerait un poids beaucoup plus lourd qu'il n'est possible sur le pavé ou le macadam, ou la vitesse serait considérablement augmentée en même temps que la durée et la conservation du matériel roulant seraient prodigieusement accrues.

Tous ces avantages du bétonnage des rues et chaussées sont incontestables, à la condition toutefois qu'il est bien certain qu'un bétonnage de ce genre aurait puissance de résister pendant de longues années au roulement quotidien de quinze à vingt mille voitures, ou à l'écrasement des plus lourds fardeaux, des voitures de pierres, et que sa confection et la prise de possession n'exigeraient pas une suspension trop grande de la circulation.

De tous les emplois des bétons agglomérés, l'application aux chaussées est certainement celle qui présente les difficultés les plus redoutables, et dont l'importance est la plus grande; elle soulève tant d'objections, tant d'incrédulité, que si nous n'avions chaque jour sous les yeux des chaussées bétonnées qui, depuis plusieurs années, résistent victorieusement à toutes les atteintes, nous n'oserions certainement pas proposer d'employer ce procédé; mais déjà depuis plusieurs années des chaussées résistent, donc le procédé est pratique.

En effet, en employant des matériaux de très-bonne qualité, en opérant un mélange parfaitement intime, en obtenant le béton à l'état plastique quoique très-ferme, on parvient à réaliser une prise si énergique, une si grande dureté, que l'on peut confectionner des

dallages de route assez solides pour supporter pendant des années le roulement de voitures nombreuses et très-lourdes, sans traces apparentes d'usure. Cette dureté est telle que les voitures pivotent à angle droit sans amener d'écrasement; dans d'autres parties, des voitures chargées de deux mètres de sable de rivière écrasent constamment du gravier, du sable, du silex, roulent, pivotent sans produire de dégradation.

Cette application déjà faite en grand prouve que le béton aggloméré peut arriver à une résistance à l'écrasement qui s'élève peut-être à mille kilos par centimètre; résistance prodigieuse qui en grande partie doit être attribuée au monolithisme et d'autant plus remarquable que les bétons dont il s'agit sont à base de chaux.

Le problème des chaussées monolithes serait depuis longtemps déjà complétement résolu si, dans l'état auquel le procédé était arrivé jusqu'à ces derniers temps, il n'avait pas fallu un mois environ pour obtenir du béton aggloméré une dureté assez grande pour résister sans atteinte au choc et au roulement des plus lourdes voitures.

Mais la nécessité d'attendre trois ou quatre semaines avant de livrer à la circulation une chaussée de béton aggloméré, afin d'obtenir une résistance suffisante pour faire face au rude service qu'impose la circulation des grandes villes, devenait un obstacle à peu près insurmontable, du moins en ce qui concerne la ville de Paris.

Il fallait donc trouver un tour de main nouveau et décisif, un dernier perfectionnement qui permît d'activer, de surexciter encore la rapidité et l'intensité de la prise des bétons.

Pour réaliser cette amélioration suprême, nous avons recherché les meilleures chaux, les meilleurs ciments qui existent; car dans les chaussées dont le durcissement complet avait demandé un mois en hiver, nous n'avions pas, il est vrai, employé les matériaux tout à fait les meilleurs.

De plus, et ceci est bien plus important, nous avons eu recours pour la première fois à la chaleur, innovation capitale que, par ses résultats, nous croyons appelée à jouer dans l'avenir un rôle fréquent et important dans l'emploi des bétons agglomérés.

Ayant remarqué qu'en été la prise des bétons est toujours beaucoup plus prompte et plus énergique qu'en hiver, nous avons pensé que si quinze à vingt degrés de chaleur au plus produisaient une aussi grande différence, soixante à quatre-vingts degrés en produiraient une bien plus grande encore.

Le fait a confirmé nos prévisions; ayant élevé la température du béton à quatre-vingts degrés, et l'ayant aggloméré pendant qu'il était encore chaud, nous avons obtenu une intensité et une rapidité de prise telles, qu'un froid de dix degrés, survenant quelques heures après l'agglomération, n'a produit aucune action; en moins de deux jours la dureté de la chaussée a dépassé celle que nous obtenions à peine en quinze jours; au bout de huit jours, cette dureté avait dépassé de beaucoup le maximum de ce que nous avions jamais atteint.

Cet emploi de la chaleur, appliquée aux trottoirs, permettrait de les livrer à la circulation en moins de vingt-quatre heures.

La substitution des bétons agglomérés au macadam,

aux pavages, aux dallages dans les grandes villes, grâce à l'économie de temps dans la prise qui a été obtenue par l'emploi de la chaleur, peut donc être considérée comme une question résolue; par conséquent, et bien plus facilement encore, il en serait de même pour les petites villes où la circulation est peu importante, et l'on pourrait par ce moyen et à bien peu de frais leur donner l'extrême propreté et les mettre à l'abri des frais d'entretien.

A plus forte raison, ce procédé trouverait-il un véritable emploi d'intérêt public dans le dallage des routes, dont une moitié pourrait continuer d'être livrée à la circulation pendant que l'autre moitié serait bétonnée.

Ce bétonnage, en frais de première installation, coûterait sans doute un peu plus cher que le macadam, mais à coup sûr il coûterait bien moins cher que le pavage; toutefois il aurait ensuite sur le macadam l'avantage, une fois les frais de première pose payés, de n'exiger aucune réparation, ou du moins de pouvoir servir de longues années sans être réparé, puisque cette surface de béton, se trouvant de qualité uniforme dans toute son épaisseur, pourrait être presque entièrement usée sans y toucher.

Mais l'avantage le plus important consisterait en ce qu'une surface lisse de béton aggloméré n'oppose presque pas plus d'obstacle à la traction que les rails d'un chemin de fer. Sur une chaussée de béton, un homme peut traîner presque autant qu'un cheval sur une bonne route ordinaire; un cheval de taille ordinaire ébranle et traîne très-facilement des charges de quatre mille à

cinq mille kilogrammes, tandis que sur le macadam c'est à peine si un fort cheval peut enlever deux mille kilos.

Donc des routes bétonnées n'auraient plus de poussière ni de boue, n'exigeraient plus de réparations; en outre, elles permettraient une économie de plus de cinquante pour cent sur les frais ordinaires de traction; de même que par l'absence de chocs elles assureraient une durée illimitée à la conservation du matériel roulant, en même temps qu'elles assureraient la longévité et la santé des animaux de trait. Par la même raison la vitesse pourrait être augmentée dans une large proportion : les chevaux n'ayant presque pas de force matérielle à vaincre et n'ayant à donner que de la vitesse, il n'y aurait rien d'exagéré à dire que les diligences et les omnibus pourraient atteindre facilement une vitesse moyenne de quinze à vingt kilomètres par heure.

Et si jamais les voitures à vapeur devenaient pratiques, il est bien évident que nul procédé ne pourrait en rendre l'usage aussi facile que des surfaces lisses de béton aggloméré.

Il est donc permis d'avancer que les chaussées de béton seraient le complément des chemins de fer; en effet, on ne peut concevoir l'idée d'étendre indéfiniment le système des grands railways, ou celui même auquel on donne le nom de chemins de fer américains, à toutes les routes départementales, cantonales, communales, vicinales; les grands chemins de fer coûtent trop cher et sont trop difficiles à exploiter; les chemins américains, non-seulement sont d'un prix élevé, mais leur entretien et leurs inconvénients sont tels, qu'il est impossible que leur usage puisse être généralisé.

Mais le plus grave inconvénient de toutes les voies ferrées est la suppression de la liberté pour les particuliers et l'obligation de livrer leur exploitation à des monopoles, à de grandes compagnies, tandis qu'avec des surfaces de béton aggloméré il ne serait plus besoin de rails ni d'ornières ; les voitures se croiseraient, se dépasseraient en toute liberté comme sur les routes ordinaires.

Les routes bétonnées, moyennant un petit mur d'appui de demi-hauteur établi de chaque côté, également en béton aggloméré, donneraient à la circulation la plus complète sécurité.

Mais, dira-t-on, si les surfaces de bétons sont aussi dures, elles se poliront et le pied des chevaux glissera. Le fait, heureusement, a démenti cette objection : les chevaux ne glissent pas, et, dans les temps de verglas, la glace s'attache beaucoup moins au béton qu'à l'asphalte ou au granit.

Alors même que le béton aggloméré ne pourrait être utilisé avec succès que pour le dallage des routes et des petites villes, à l'exclusion des grandes villes, par suite de la circulation forcenée à laquelle elles sont soumises, son emploi n'en deviendrait pas moins une véritable question d'intérêt public.

Mais il n'est point dit encore que son application ne pourrait être faite à la circulation des grandes villes : en effet, ce n'est pas la résistance qui manque, car si l'on emploie à froid le béton, en moins d'un mois elle est suffisante et elle ne fait qu'augmenter avec le temps ; à plus forte raison, si l'on emploie la chaleur en agissant sur les plus excellents matériaux connus, la rapi-

dité de la prise peut être tellement active et son intensité tellement accrue qu'il n'est presque pas permis de douter du succès.

Toujours est-il que, par les résultats déjà acquis, on peut considérer les bétons agglomérés comme appelés à jouer un grand rôle à l'avenir dans la confection des voies de circulation : alors même que le bétonnage monolithe des rues et chaussées des grandes villes ne pourrait être mis en pratique, le béton aggloméré pourrait être employé d'une autre manière, c'est-à-dire à l'état de pavés ou de dalles artificiels : dans ce cas, les inconvénients pour la limite de temps nécessaire au plus grand durcissement des dalles et pavés disparaîtraient complétement.

En effet, s'il le faut, des semaines, des mois, des années au besoin pourront s'écouler entre la confection des dalles et pavés et leur mise en place, et par ce moyen, puisque en moins d'un mois les dallages monolithes deviennent assez résistants, les pavés et les dalles trouveront dans le délai qui peut s'écouler avant leur mise en place, des conditions certaines de dureté et de résistance d'autant plus grandes que l'on peut soumettre ces pavés et ces dalles à certaines préparations d'incrustations qui en augmenteraient la solidité dans une incroyable proportion.

C'est ainsi qu'on peut les soumettre à des lotions de bi-phosphate de chaux ou de silicates alcalins, ou mieux encore, les plonger dans un courant d'eau chargée de bi-carbonate de chaux, de telle sorte que l'eau s'élevant jusqu'à la moitié de leur hauteur, la moitié de la surface des dalles et pavés restant exposée à l'air,

une évaporation continue se produirait; par le fait de l'absorption capillaire, l'eau dans laquelle baigneraient ces dalles et pavés s'élèverait incessamment jusqu'à la surface exposée à l'air, et en s'évaporant laisserait des quantités croissantes de bi-carbonate de chaux jusqu'à parfaite incrustation, jusqu'à complet durcissement.

Ce mode de durcissement, provenant d'une évaporation continue, favorisant tout à la fois la carbonatisation et l'incrustation, donnerait évidemment les plus excellents résultats.

Sous peu de temps des pavés et des dalles de ce genre seront soumis à l'examen des hommes compétents.

APPLICATION

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

AUX GRANDS TRAVAUX D'HYDRAULIQUE.

APPLICATION

DES BETONS AGGLOMÉRÉS

AUX GRANDS TRAVAUX D'HYDRAULIQUE.

Il est difficile de contester l'importance des diverses applications des bétons agglomérés que nous venons d'énumérer, et pourtant quelque grande qu'elle soit, elle est loin d'approcher de celle des applications qui peuvent en être faites dans le grand art de l'hydraulique.

Nous avons dit que les bétons agglomérés bien préparés sont lourds, compactes, imperméables, absolument résistants aux intempéries, même les plus outrées; nous avons dit que le temps, loin de diminuer ces qualités, ne faisait que les accroître.

Mais les pierres naturelles aussi peuvent être lourdes, compactes, imperméables et résistantes, et alors entre des pierres naturelles et des pierres de béton aggloméré il pourrait n'y avoir qu'une question de prix de revient, dont l'importance ne serait pas assez grande pour attirer l'attention des hommes de l'art; par conséquent si les bétons agglomérés ne pouvaient être employés qu'à l'état de blocs plus ou moins gros, de pierre artificielle, ils ne présenteraient pas, prix à part, d'autres avantages que la pierre naturelle.

Mais, nous l'avons déjà dit, l'économie, quoique considérable, que permet l'emploi des bétons agglomérés sur

les autres matériaux, n'est que le moindre de leurs avantages, et l'on y trouve des moyens si nouveaux, si puissants, si spéciaux, que leur supériorité sur tout autre mode de bâtir devrait être proclamée, alors même qu'ils coûteraient aussi cher et même qu'ils coûteraient davantage : c'est ce qu'il est facile de prouver.

Nous avons dit, en effet, qu'une construction de béton aggloméré, quelle que soit sa forme, sa masse, son étendue, sa destination, formait un tout monolithe, un seul bloc, sans joints et sans fissures; nous avons dit, en outre, qu'une maçonnerie de ce genre, bien conduite, était tellement dure, qu'elle pouvait offrir une résistance de plusieurs centaines de kilogrammes à l'écrasement par centimètre carré, et, selon les matériaux employés et le temps écoulé depuis la confection, une résistance de dix, de quinze, de vingt kilogrammes à l'arrachement et aussi par centimètre carré.

Il est donc évident qu'une maçonnerie monolithe qui, dans toute sa masse, offrirait une résistance à l'arrachement de dix à vingt kilogrammes par centimètre carré, tandis que la maçonnerie ordinaire en moellons, en briques, et même en pierres de taille, n'offre d'autre résistance que celle de son poids, et n'en présente aucune à l'arrachement; cette maçonnerie monolithe opposerait à la pression des eaux une résistance efficace et énergique en sus de son propre poids, qui, de deux choses l'une, ou donnerait à épaisseur égale une sécurité infiniment plus grande que celle d'une maçonnerie ordinaire, ou permettrait de réduire les épaisseurs dans une grande proportion, ce qui, tout en conservant la sécurité, donnerait une économie très-considérable, sans même tenir compte de l'avantage

d'économie que présente en elle-même la maçonnerie de béton aggloméré sur tout autre genre de construction.

En outre de cette incontestable supériorité de résistance des constructions monolithes, l'absence de joints, de retraits, de fissures, leur en assure une autre non moins grande encore.

Toute maçonnerie ordinaire de moellons, de briques, de pierres de taille même, offre toujours une multitude de joints, de vides qui tôt ou tard permettent les infiltrations, donnent lieu à des tassements par le fait de l'action des gelées et des intempéries, de telle sorte que l'érosion des eaux finit toujours par amener la destruction des maçonneries ainsi construites.

C'est ainsi que les digues sont emportées, les réservoirs renversés, les travaux à la mer détruits.

Un monolithe de béton aggloméré sans joints n'offre aucune prise aux atteintes destructives; le temps, les intempéries, les chaleurs, les gelées, le contact des eaux ne font qu'en augmenter la solidité; et quand une maçonnerie de ce genre aura résisté pendant quelques mois, elle résistera toujours.

Donc durée illimitée, absence de joints, réduction des épaisseurs, accroissement de résistance, et partant de sécurité, économie prodigieuse du prix de revient, tous ces avantages donnent bien aux bétons agglomérés la supériorité que nous leur assignons sur tous les autres systèmes connus, et c'est encore le cas de dire que leur emploi est une véritable révolution dans l'art de l'hydraulique; un jour viendra où l'on ne voudra plus se servir d'autre moyen pour ce genre de constructions.

Examinons maintenant plus en détail le parti qu'on peut tirer, dans l'art de l'hydraulique, de l'emploi des bétons agglomérés, de leur monolithisme, de leur résistance efficace à l'arrachement et de l'absence de joints, étant admises l'imperméabilité et la résistance aux intempéries même les plus outrées.

DIGUES ET BARRAGES.

Après les malheurs dont, depuis quelques années, les inondations ont accablé la France ; quand on a vu, quand on voit chaque jour encore que presque tous ces malheurs proviennent de la rupture des digues, on reconnaît que les systèmes actuels de construction n'offrent aucune garantie de sécurité; en effet, les digues résistent pendant quelques années, mais bientôt, par les affouillements produits par les eaux courantes, par l'effet des gelées, par la dissolution des mortiers, par les tassements, par l'effet des végétations qui s'introduisent dans les joints, quelques pierres commencent à s'ébranler, à se disjoindre, et vienne une crue plus subite et plus forte que les autres, la digue est emportée, et les eaux se précipitent sur les contrées qui comptaient sur la protection de cette digue.

Ces ruptures de digues se sont montrées si générales et si fréquentes que toute sécurité est désormais perdue, et que les terrains qui avoisinent les rivières tendent à perdre toute la valeur que la protection des digues leur avait donnée.

Après tous les désastres qui se sont produits, il faut, sous peine d'être déclaré impuissant, que l'art de l'hydraulique trouve des moyens plus sûrs et plus efficaces ; il faut que les populations soient rassurées, il faut que les terrains reprennent toute leur valeur et que les rive-

rains des cours d'eau puissent reprendre leurs travaux en toute sécurité.

Or, ce moyen nouveau, sans lequel l'art demeure impuissant, est l'emploi des bétons agglomérés.

Par cet emploi, une digue, un barrage ne forment dans toute leur masse, leur longueur, leur épaisseur, qu'un seul bloc monolithe, sans un seul joint, sans une seule fissure, bloc gigantesque sur lequel les gelées, les courants d'eau, les infiltrations, les affouillements, les tassements, par la dureté propre des bétons agglomérés et par l'absence de tous joints, n'exercent aucune espèce d'action, sinon de les durcir, de les améliorer par la durée du temps; conditions bien évidentes et bien complètes de sécurité.

Afin de prouver la supériorité des bétons agglomérés sur les procédés ordinaires, nous établirons une comparaison entre les conditions d'un barrage ordinaire avec un barrage semblable en béton aggloméré.

Supposons qu'il s'agisse d'un barrage devant avoir quatre-vingts mètres de longueur sur soixante mètres de hauteur; ce sont, si nous ne nous trompons, les mesures approximatives du barrage qu'on élève dans les environs de Saint-Étienne (Loire).

Ce barrage est construit en moellons, et, suivant les usages ordinaires, comme on ne compte que sur la résistance inerte offerte par le poids de la maçonnerie et nullement sur la force vive d'une résistance à l'arrachement, on lui donne, comme épaisseur à la base, la moitié de la hauteur de la colonne d'eau à supporter, soit trente mètres, arrivant par un talus à la partie supérieure à huit mètres d'épaisseur, ce qui donne une épaisseur

moyenne de dix-neuf mètres, et un cube total pour le barrage entier de $80 \times 60 \times 19 = 91{,}200$ mètres, soit mille cent vingt-cinq mètres par mètre courant.

Or, comme chaque mètre de maçonnerie de moellons pèse environ deux mille deux cents kilos par mètre, la résistance en poids de ce barrage par chaque mètre courant sera de deux millions quatre cent soixante-quinze mille kilos.

Si un barrage de même épaisseur était construit en béton aggloméré, la résistance comme poids serait déjà plus considérable, puisqu'un mètre cube de ce béton pèse deux mille trois cents à deux mille quatre cents kilos le mètre cube, selon la nature du sable; mais de plus, comme ce barrage en béton aggloméré serait un monolithe offrant de dix à vingt kilos de résistance à l'arrachement, nous trouvons que dans ce cas il faudrait ajouter à la résistance offerte par le poids, soit deux millions quatre cent soixante-quinze mille kilos par mètre courant, la résistance à l'arrachement de dix à vingt kilos par centimètre carré; admettons dix kilos.

Pour établir la somme de résistance à l'arrachement que les eaux auraient à vaincre pour renverser un barrage en béton aggloméré, non-seulement il faut adopter la surface d'une section verticale, mais encore la surface d'une section horizontale à la base.

Car le renversement d'un barrage ne pourrait se produire que par une rupture simultanée des lignes verticales et horizontales; en effet, si un retrait se produisait dans le sens vertical et dans toute l'épaisseur et la hauteur de la maçonnerie, pour qu'un renversement fût possible il faudrait encore vaincre la résistance à

l'arrachement de la ligne horizontale de base qui seule serait bien plus que suffisante pour résister à la pression de l'eau.

En effet, un barrage qui aurait quatre-vingts mètres de longueur sur trente mètres d'épaisseur à la base, donnerait, pour une section horizontale faite à la base, une surface totale de vingt-quatre millions de centimètres carrés.

Or, chaque centimètre carré de bon béton aggloméré ayant au moins une résistance de dix kilos à l'arrachement, il s'ensuit qu'un barrage dans les conditions ci-dessus indiquées présenterait en sus de son poids spécifique, et par le fait de la résistance à l'arrachement s'exerçant dans une section horizontale prise à la base du barrage, une résistance de deux cent quarante millions de kilogrammes, c'est-à-dire une résistance qui, se manifestant sur tous les points de la digue, serait cent fois plus grande que celle du poids d'une section d'un mètre de maçonnerie ordinaire que nous avons vu être de deux millions quatre cent soixante-quinze mille kilos.

Nous disons cent fois plus grande, parce qu'un renversement ne saurait avoir lieu sans amener le décollement de toute la surface de base, de telle sorte que par le monolithisme, par la solidarité de la masse, toute la résistance à l'arrachement du barrage entier serait employée pour chaque mètre courant.

Ce n'est pas encore assez : à la résistance de la section horizontale il faut ajouter la résistance de la section verticale, qui donne, hauteur 60 mètres, épaisseur moyenne 19 mètres = 1,140 mètres, soit onze

millions quatre cent mille centimètres superficiels qui, à dix kilos de résistance, donnent une résistance totale de cent quatorze millions de kilogrammes.

De telle sorte que pendant que la maçonnerie ordinaire n'offre modestement que son propre poids, soit deux millions quatre cent soixante-quinze mille kilos par mètre courant, par conséquent deux cents millions de kilos environ pour la totalité du barrage, les bétons agglomérés, tout en présentant une pesanteur spécifique plus grande encore, y ajoutent, sur chacun des points quelconques du barrage où la rupture pourrait tendre à se produire, un excédant de résistance vive et permanente à l'arrachement de trois cent cinquante-quatre millions de kilogrammes que l'eau doit forcément vaincre pour opérer le renversement du barrage, c'est-à-dire une résistance plus de cent fois plus grande que celle offerte par la maçonnerie ordinaire.

De pareils résultats seront certainement taxés d'exagération, et pourtant de ce que nous avançons, il n'y a rien qui ne soit conforme à la vérité; le réservoir qui a été construit à titre d'expérience dans la succursale de l'École des ponts et chaussées, au quai de Billy, à Paris, donne une preuve suffisante de ce qu'il est possible d'obtenir.

Ce réservoir, qui a été construit il y a plusieurs années, et qui, par conséquent, n'a point participé aux perfectionnements apportés depuis à la confection des bétons agglomérés, supporte une colonne d'eau de cinq mètres de hauteur, laquelle repose sur un fond de béton portant à vide, c'est-à-dire reposant simplement sur un mur de pourtour.

Pour résister à une pression de cinq mètres, il eût fallu, par les procédés ordinaires, qui ne demandent la résistance qu'au poids, à la force d'inertie de la maçonnerie, une épaisseur à la base, égale à la moitié de la hauteur de la colonne d'eau à supporter, soit deux mètres et demi; au lieu d'avoir deux mètres et demi d'épaisseur, les parois de ce réservoir ont à la base trente-sept centimètres d'épaisseur, c'est-à-dire sept fois moins que l'épaisseur réglementaire, et encore aujourd'hui que nous avons considérablement perfectionné le procédé, nous ne croirions rien risquer en donnant à ce réservoir une épaisseur de vingt-cinq centimètres, c'est-à-dire dix fois moins que celle ordinairement exigée.

Le béton aggloméré offre des ressources plus grandes encore, car non-seulement en sus du poids de la maçonnerie ordinaire, il possède une résistance vive à l'arrachement de dix kilos par centimètre carré, ce qui, comme nous l'avons vu, dépasse plus de cent fois la puissance de la résistance de la maçonnerie ordinaire; mais encore il est possible d'introduire pendant sa confection, au moment même du pilonnage, des tirants, des chaînes en fer, ou mieux encore de petits crampons en grand nombre, des matières textiles, et notamment du fil de fer haché; de telle sorte que, par ce moyen, la résistance du béton, déjà si grande, s'accroîtrait de toute celle de ces matières introduites, à ce point de pouvoir presque être considérée comme infinie.

En effet, que dans un massif de béton aggloméré on introduise des tirants en fer, et avec le principe que nous avons si heureusement appliqué pour la confection de planchers, de toitures en terrasses, on con-

cevra que pour renverser un mur monolithe, traversé dans sa longueur à distances plus ou moins rapprochées par des barres de fer, non-seulement il faudra vaincre la force vive de résistance à l'arrachement que présente le béton aggloméré, mais encore il faudra briser les barres de fer.

Qu'au lieu de barres on introduise des chaînes, et alors chaque anneau de ces chaînes, moulé, emprisonné dans de la pierre dure, donnera à la maçonnerie toute la résistance qui lui serait propre.

Au lieu de chaînes on peut introduire, en les croisant en tous sens, un nombre infini de petits morceaux de fer aplatis aux deux extrémités, afin de former tirant; et ces petits crampons, suffisamment multipliés et répandus dans toute la masse, lui donneraient une résistance encore plus grande que ne sauraient le faire les barres et les chaînes.

On pourrait, simplement encore, hacher des matières filamenteuses, du chanvre, par exemple, qui, broyé avec le béton même, donnerait une résistance énorme.

Mais ce qui paraît le meilleur serait l'emploi du fil de fer mince, d'une longueur de quatre à cinq centimètres, écrasé par les deux bouts.

Toutefois on a opposé comme objection qu'il n'est pas possible d'introduire sans danger des armatures de fer dans des maçonneries exposées à l'air ou au contact de l'eau, car l'eau pénètre à l'intérieur, oxyde le fer, qui, en s'oxydant, acquiert un plus fort volume et brise les pierres dans lesquelles il est scellé, en même temps qu'en s'oxydant le tirant en fer perd progressi-

vement de sa force, jusqu'à la perdre entièrement, quand le fer tout entier est transformé en oxyde.

Cela est vrai pour la maçonnerie ordinaire qui n'est pas étanche et qui laisse arriver l'eau par les joints jusqu'au centre, en toute liberté.

Il n'en est point ainsi avec les bétons agglomérés; lorsqu'on agglomère des bétons convenablement préparés et non des bétons ordinaires, par le choc répété des pilons, le béton se serre à juxtaposition autour du fer, la chaux à l'état de pâte plastique en lubréfie la surface, et adhère au fer d'une manière complète et sans solution de continuité, de telle sorte que quand la prise est faite, le fer tout entier se trouve enfermé dans un véritable étui de pierre imperméable qu'aucune eau ne peut plus jamais traverser.

Et si au premier moment et au contact de l'humidité du béton, il tend à se former, ce qui n'est point prouvé, une première couche d'oxyde, cette couche se trouve tellement emprisonnée par le béton ambiant, qu'elle constitue elle-même un enduit imperméable et préservatif.

En fait, lorsque, après plusieurs années d'exposition aux intempéries, des toitures en terrasse ont été sondées, afin de savoir en quel état se trouvait le fer, on a trouvé les poutrelles franches, nettes, brillantes comme de l'argent.

Donc le fer peut être employé sans crainte; d'où il résulte que la maçonnerie monolithe de bétons agglomérés offre une sécurité sans comparaison possible avec les procédés ordinaires.

Par conséquent on conçoit qu'il est possible de ré-

duire sans danger les épaisseurs actuellement en usage, ce qui par l'économie obtenue permettra dans des cas nombreux de faire des digues et des barrages que vu la dépense excessive on eût renoncé à entreprendre.

Si l'on fait application de ces bétons à résistance si énergique à la construction des digues, on reconnaîtra que si, au lieu de faire des digues en moellons, toujours prêtes à être emportées par le fait de l'action incessante de désorganisation exercée par les courants d'eau, les affouillements, les tassements, les gelées, les végétations, on faisait des digues monolithes, en béton aggloméré, il en résulterait qu'une digue, dans toute sa longueur, dans toute son épaisseur et sa hauteur, fondations comprises, ne formant qu'un seul bloc, une seule pierre sans joints et sans fissures, il serait absolument impossible que, dans le présent et même dans l'avenir, une inondation, même la plus désordonnée, pût renverser une pareille digue.

Que de millions n'eussent pas été engloutis à Lyon en 1840 et 1856, si la digue de la Tête-d'Or eût été formée d'un seul bloc en béton, au lieu d'être bâtie en moellons, comme elle l'est du reste encore aujourd'hui, moellons qui tôt ou tard seront une fois de plus renversés par le Rhône, accablant de nouveau la ville de Lyon du désastre dont elle gémit encore!

N'est-il pas évident que si, comme nous l'affirmons, des digues et barrages de béton aggloméré donnent bien toute la sécurité que nous leur attribuons, ce procédé devrait être substitué aux procédés ordinaires, alors même que le prix de revient serait plus élevé?

Mais le bien comme le mal n'arrivent jamais seuls,

car le prix de revient ne dépasse pas le prix des maçonneries ordinaires, il est même bien loin de l'atteindre; de telle sorte que ce procédé présente tout à la fois une économie extrême, jointe à la plus extrême solidité.

Quant à l'extrême économie, voici sur quoi elle se fonde.

La maçonnerie de béton aggloméré destiné à la construction des digues et barrages se compose ordinairement de

Sable	7
Chaux en pâte	1
Terre cuite	1

à laquelle on ajoute selon les circonstances 1/20 ou 1/30 de ciment quand on veut obtenir une prise plus prompte, à l'abord de l'hiver par exemple.

A l'examen de ces éléments, il est facile de concevoir qu'ils doivent donner un prix de revient de beaucoup inférieur à la maçonnerie la plus grossière et la moins coûteuse.

Ainsi, s'il s'agit d'endiguer une rivière, le lit de cette rivière fournira presque pour rien le sable à employer, et si elle est navigable, la chaux et les ciments pourront être amenés à pied d'œuvre à peu de frais

Quant à la main-d'œuvre, elle sera peu élevée, puisque ce procédé permet d'utiliser sans apprentissage le travail de tout homme quelconque, fort ou faible, adroit ou non.

Tout ceci tombe sous le sens, et nous ne croyons pas être bien hardi en disant qu'il ne s'écoulera pas un bien grand nombre d'années avant que ce procédé soit généralement et le seul employé pour la construction de

toutes digues, tous quais et tous barrages, parce que seul il joint au bon marché les conditions les plus absolues de solidité, de durée, de résistance à toutes les causes de destruction.

RÉSERVOIRS D'EAU,

CITERNES,

CUVES DE GAZOMÈTRES.

Les avantages des bétons agglomérés pour la construction des digues et des barrages se présentent tout entiers dans la construction des réservoirs d'eau et des citernes.

Les praticiens savent quelles difficultés il leur faut vaincre pour obtenir hors du sol, et même sous le sol, des citernes, des réservoirs absolument étanches et pouvant conserver leur étanchéité au contact de l'air.

Souvent les matériaux de mauvaise qualité sont perméables ; la multitude de joints, les vides de la maçonnerie laissent l'eau s'infiltrer; les enduits de ciment, souvent bons au début, s'ils sont exposés à l'air, se fendent, se détachent de la maçonnerie, et les eaux s'écoulent; d'autres fois, et c'est encore plus grave, des tassements s'opèrent, les murs se détachent, se renversent, entraînant ainsi de véritables désastres : c'est ce qui est arrivé au Havre, à Bordeaux. à Madrid, c'est ce qui arrive tous les jours dans la pratique ordinaire.

Quelle est l'usine à gaz, par exemple, qui ne soit à chaque instant menacée par les fuites des cuves de gazomètre ?

L'impuissance des procédés actuels est telle que les hommes de l'art considèrent comme l'une des difficultés

les plus redoutables de bâtir des bassins et réservoirs en plein air : aussi ce n'est qu'à la dernière extrémité que l'on se résigne à les bâtir hors du sol.

Rien de tout cela n'est à craindre avec les bétons agglomérés.

Ils sont insensibles aux influences atmosphériques, ce qui s'explique parfaitement par la grande quantité de sable qu'ils contiennent, laquelle empêche les retraits ou la dilatation de la chaux : aussi, au contact de l'air, une bonne maçonnerie de béton aggloméré n'éprouve aucun retrait, ne présente aucune fissure, elle est imperméable ; et surtout si, pendant sa confection, on y introduit des matières textiles, des tirants, elle acquiert alors une force de résistance à l'arrachement sans analogue dans l'art actuel de construire.

Ainsi, si nous prenons pour exemple le réservoir de Bordeaux qui, en se renversant, a entraîné de si grands malheurs, nous reconnaîtrons que si les murs de béton ordinaire, qui avaient trois mètres d'épaisseur, avaient présenté une force de résistance à l'arrachement de dix kilogrammes par centimètre, ainsi que le fait une maçonnerie de béton aggloméré, il eût fallu une force de trois cent mille kilos par mètre courant pour opérer le renversement, tandis qu'en réalité la pression ne dépassait pas six mètres de hauteur d'eau, pression relativement faible et qui, néanmoins, a suffi pour amener le renversement d'un mur épais de béton ordinaire, lequel malheureusement n'offrait pour résistance que sa propre pesanteur.

Par l'emploi du béton aggloméré, les citernes, les réservoirs peuvent être construits avec une égale sécu-

rité, aussi bien au-dessus du sol qu'au-dessous; il n'y a pas plus de danger à redouter dans un cas que dans l'autre.

C'est ainsi que l'on peut construire à l'état complétement monolithe des fosses ou citernes à huile, telles que celles que l'on construit avec de si grandes dépenses à Marseille, sous le nom de piles : seulement, les fosses en bétons agglomérés ne coûteraient pas la moitié du prix des fosses actuelles et offriraient une plus grande sécurité.

Par ce moyen encore on peut faire toute espèce de fosses, de cuves pour l'industrie, des cuves à tannerie, des cuves pour papeterie, des fosses pour la fabrication de la porcelaine, dans lesquelles la pâte doit demeurer des mois entiers à l'état humide, et que l'on ne confectionne aujourd'hui que très-difficilement et avec de grandes dépenses; des citernes à mélasse pour les sucreries, des cuves à acides pour certaines manufactures.

Toutes ces applications peuvent être faites avec la plus complète certitude et avec une très-faible dépense.

Mais la plus difficile, la plus importante peut-être de ces applications est la construction des cuves de gazomètre.

La hardiesse des ingénieurs a porté le diamètre de ces cuves de trente-cinq à quarante mètres et au delà, et leur profondeur à douze ou quinze mètres.

Pour construire ces fosses, il leur faut subir souvent les plus graves difficultés; ils ont des terrains mouvants qui s'éboulent, ou des terrains glaiseux qui glissent, ou bien presque toujours, à cause des grandes profondeurs, il ont des eaux qui noient les travaux et qui empêchent

une bonne confection; puis quand, à grande peine et grande dépense, ils ont étayé les terres et étanché l'eau, ils bâtissent une maçonnerie qui, malgré les soins et la surveillance, est pleine de vides; c'est en vain qu'ils enduisent cette maçonnerie d'une couche de ciment, malgré tous les soins, des tassements s'opèrent, les maçonneries se fendent, se lézardent, le ciment se détache, se fendille en tous sens, si bien que les eaux contenues dans la fosse s'échappent en infectant le voisinage.

Bref, il est très-rare de trouver une cuve de gazomètre complétement étanche, et dont la construction n'ait entraîné des dépenses énormes.

Le seul moyen de se mettre à l'abri des couches d'eau, des éboulements, des glissements de terrains serait de construire les cuves de gazomètres sur le sol, ou au moins au-dessus des couches d'eau ou des zones de mauvais terrains; mais, dans l'état actuel de l'art de construire, ce moyen fait complétement défaut; nulle maçonnerie n'est durable au contact de l'air et des intempéries, toutes se fendent, se gercent, toutes laissent fuir l'eau; ces maçonneries, en un mot, comme pour les barrages, n'offrent d'autre résistance que leur propre poids et aucune force de cohésion, de telle sorte que le moindre tassement amène la rupture.

Le béton aggloméré donne, au contraire, la plus complète solution (nous disons le béton aggloméré, parce que si l'on s'avisait de vouloir construire la maçonnerie des gazomètres en béton ordinaire, comme ce béton est perméable, sans cohésion, poreux, gélif, on s'exposerait à toutes les catastrophes). En effet, le bé-

ton aggloméré non-seulement résiste par son poids comme la maçonnerie ordinaire et il est plus lourd qu'elle, mais encore il présente une force de cohésion, une résistance à l'arrachement que nous avons admise au minimum de dix kilos par centimètre carré.

Si donc on supposait qu'il s'agisse d'élever hors du sol une cuve de gazomètre ayant douze mètres de hauteur sur quarante de diamètre, on reconnaîtrait, en adoptant les règlements en usage, que l'épaisseur moyenne à donner à une maçonnerie ordinaire de pierres devrait être de six mètres à la base, et il y aurait encore à craindre que cette maçonnerie ne pût longtemps résister aux intempéries.

Mais si, au lieu de maçonnerie ordinaire, on employait les bétons agglomérés, l'épaisseur moyenne pourrait être réduite à un mètre cinquante, soit deux mètres à la base et un mètre au bord supérieur.

La rupture d'une maçonnerie circulaire de ce genre ne pourrait avoir lieu, en admettant un sous-sol complétement résistant, que sous l'effort de la pression des eaux intérieures; ou par un tassement du sous-sol sur lequel la cuve du gazomètre serait bâtie, si ce sous-sol n'était pas résistant.

Or, comme la rupture par pression d'eau ne pourrait avoir lieu sans rompre la maçonnerie sur deux points à la fois, c'est-à-dire en renversant un pan de mur; et comme ce pan de mur lui-même ne pourrait se renverser sans s'arracher de sa base, on reconnaît, pourvu que le fond ait une épaisseur suffisante, qu'une section des deux côtés et de la base d'un pan de mur présenterait une superficie totale de cent mètres au moins. Or,

comme chaque centimètre, ainsi que nous l'avons vu, oppose une résistance à l'arrachement de dix kilos et plus, il en résulte que cent mètres superficiels opposeraient une résistance totale de dix millions de kilogrammes, sans tenir aucun compte du poids de la maçonnerie.

Par conséquent, puisque les grandes cuves de gazomètre que l'on construit actuellement contiennent dix mille mètres cubes d'eau, il en résulte que si tout le poids de cette eau était employé à produire la poussée, la maçonnerie de béton aggloméré, par sa résistance à l'arrachement, en sus de son poids, opposerait une résistance égale à la totalité du poids de l'eau contenue dans le gazomètre.

Mais, on le sait, une faible partie seulement du poids de l'eau contenue dans une capacité presse sur les parois, de telle sorte que, malgré la force de levier que peut exercer une colonne d'eau de douze mètres, la pression ne peut, à beaucoup près, atteindre la totalité du poids de l'eau contenue dans cette capacité.

Donc une cuve de gazomètre construite dans les conditions d'épaisseur et de capacité que nous avons indiquées présenterait dans sa résistance à l'arrachement une force de beaucoup supérieure à la pression des eaux intérieures, excédant de force si considérable, qu'alors même que le sous-sol se tasserait, la cuve de gazomètre construite en béton aggloméré, malgré son propre poids, malgré le poids de l'eau, resterait suspendue à vide sans se rompre.

Cette force de résistance serait d'autant plus grande et donnerait d'autant plus de sécurité que l'on aurait

soin, conformément à ce que nous avons dit déjà pour les barrages, d'introduire dans la maçonnerie même de béton, et pendant sa confection, des chaînes, des crampons, du fil de fer haché, des matières textiles, et par ce moyen on augmenterait la résistance à la rupture dans une proportion telle, qu'il y aurait plus de sécurité à bâtir une cuve de gazomètre au-dessus du niveau du sol que de la construire par les moyens ordinaires dans le sol même.

Toutefois, malgré la sécurité, il ne conviendrait de construire hors du sol en tout ou en partie que dans le cas de difficultés sérieuses, de nappe d'eau, ou de terrains trop mouvants.

Mais, quoi qu'il en soit, que la construction se fasse hors du sol ou dans le sol, les parties exposées à l'air, quoique sans enduits, braveraient toutes les intempéries, résisteraient à la gelée comme à la chaleur, ne subiraient aucun retrait, ne donneraient pas de fissures et ne laisseraient fuir aucune quantité d'eau.

Par ce procédé, une cuve de gazomètre qui contiendrait dix mille mètres cubes d'eau, ce qui est énorme, constituerait un vase monolithe gigantesque, d'une seule pierre sans aucuns joints.

Nous osons le dire, le béton aggloméré, pour cette application spéciale, offre une supériorité sans comparaison possible avec tout autre procédé, supériorité si grande, qu'alors même, ce qui n'est pas, qu'une maçonnerie de ce genre devrait coûter plus cher que les maçonneries ordinairement employées, il serait préférable encore de construire en béton aggloméré.

Cette application des bétons agglomérés à la con-

struction des citernes et des fosses de gazomètre n'est point une simple théorie, nous en avons fait la pratique en grande échelle dans notre manufacture de Saint-Denis, où nous avons eu occasion de bâtir plusieurs fosses d'aisances, plusieurs grandes citernes dont quelques-unes contiennent de l'eau bouillante, et une vaste fosse de gazomètre.

PONTS ET PONCEAUX.

Si l'on se souvient que nous avons dit que les bétons agglomérés contiennent à peine le tiers des quantités de chaux et ciments ordinairement employés par les procédés ordinaires, et qu'ils ont pour base principale le sable des rivières, on comprendra facilement que tout travail de construction, pont, digue ou barrage, qui serait fait sur le bord même des rivières fournissant le sable et amenant, à peu de frais, les autres matériaux, pourrait être édifié avec une dépense moindre que celle de la maçonnerie la plus vulgaire, laquelle exige des ouvriers d'art, des transports coûteux, et une plus grande quantité de chaux et de ciments; à plus forte raison coûterait-elle infiniment moins cher que la maçonnerie de briques ou celle de pierres de taille, surtout si l'on emploie la pierre de premier ordre que presque jamais l'on ne trouve à proximité des travaux.

Or, surtout lorsqu'il s'agit de construire des ponts à grande portée, la pression des arcs est si considérable, l'écrasement si excessif, que, coûte que coûte, l'on est forcé d'employer les pierres les plus dures et les plus coûteuses, à ce point, par exemple, que les ponts, à Paris, doivent être construits en calcaire dur du Jura, dont le prix de revient, par la difficulté de la taille et par les transports, atteint, s'il ne le dépasse, le chiffre énorme de deux cents francs le mètre cube.

Mais non-seulement dans ces conditions une construction de bétons agglomérés coûterait infiniment meilleur marché, mais encore elle atteindrait une solidité bien supérieure à celle des constructions élevées avec la pierre de taille même de premier choix; car pendant que la meilleure maçonnerie de pierres présente toujours une multitude de joints laissant filtrer l'eau qui entraîne à la longue le mortier, d'où résultent tôt ou tard des tassements qui compromettent les constructions, action funeste des intempéries qui n'a pu être conjurée entièrement même par des couches d'asphalte ou de ciment, la maçonnerie de béton aggloméré, au contraire, n'offre aucun danger de ce genre; grâce au monolithisme, qui est une de ses plus importantes propriétés, un travail de maçonnerie quelconque et quelle que soit sa masse totale ou sa forme, ne produit qu'un seul bloc, un véritable monolithe sans aucuns joints, sans fissures; et comme la maçonnerie de béton aggloméré est imperméable et que les eaux glissent sur elle sans la pénétrer, on conçoit qu'il n'y a plus lieu de craindre les infiltrations comme avec la maçonnerie ordinaire.

Il est évident que le monolithisme à ce point de vue, pour la construction des ponts, est un élément certain de solidité à ajouter à celle qui résulte de la cohésion des bétons agglomérés, lesquels, nous l'avons déjà dit, offrent au moins une résistance de dix kilos par centimètre carré à l'arrachement, et de plusieurs centaines de kilos à l'écrasement, en même temps qu'ils présentent une parfaite résistance à l'action des plus rudes intempéries, comme aux courants d'eau les plus violents; il est évident, disons-nous, que ces bétons agglomérés

donnent sur tout autre moyen de construction, soit au point de vue de l'économie, soit au point de vue de l'extrême solidité, une supériorité incontestable qui, avant peu, fera qu'ils seront employés avec le plus grand succès à la construction des ponts et des ponceaux.

S'il s'agit de ponts de grande dimension, de deux choses l'une, ou ces ponts auront une seule arche, les culées étant établies sur chaque bord, ou bien ils en auront plusieurs reposant sur une ou plusieurs piles établies dans le lit de la rivière.

En ce qui concerne les ponts d'une seule arche, si on en juge par l'arc de pont que nous avons construit à Paris, au quai de Billy, dans la succursale de l'École des ponts et chaussées, il est permis d'affirmer que nulle maçonnerie de pierres ne peut permettre une aussi longue portée, une épaisseur aussi faible à la clef, ni des arcs aussi surbaissés, surtout si l'on tient compte que depuis la construction de cet arc de pont des perfectionnements importants, nombreux, décisifs, ont été apportés dans la confection des bétons agglomérés, et de manière à en doubler, tripler peut-être la résistance à l'écrasement et à l'arrachement.

Quoi qu'il en soit, et malgré l'emploi de procédés moins perfectionnés qu'aujourd'hui, et de machines bien moins convenables, cet arc de pont a quinze mètres d'ouverture; il a un mètre cinquante de flèche, c'est-à-dire un dixième de la portée; il a quatre-vingts centimètres d'épaisseur à la clef.

Cet arc a été décintré peu de temps après sa confection; il a bravé déjà deux hivers sans aucune atteinte, il n'a pas laissé filtrer une seule goutte d'eau.

Lorsque ce pont a été décintré il n'a donné lieu à aucun tassement apparent, et depuis deux ans qu'il est fait, l'action des chaleurs outrées et du froid le plus rigoureux n'a produit sur lui aucun effet.

Or, après les nouveaux perfectionnements apportés dans la confection des bétons agglomérés, s'il s'agissait de construire cet arc aujourd'hui, nous n'hésiterions pas à lui donner à la clef une épaisseur de quarante centimètres au lieu de celle de quatre-vingts que nous lui avons donnée il y a deux ans.

Et si nous en jugeons par le pont biais que nous avons construit pour l'exposition de Nantes, pour lequel, pour cinq mètres de portée, malgré un biais de quarante-cinq degrés, bien que l'arc soit à anse de panier, la portion d'arc du milieu étant au vingtième de flèche, nous avons osé ne lui donner que vingt-deux centimètres d'épaisseur à la clef, nous ne commettrions pas une bien grande hardiesse en opérant une pareille réduction d'épaisseur.

Et, nous osons le dire, il ne serait pas plus difficile, au lieu d'un arc de quinze mètres d'ouverture, de construire un pont tout entier, d'une seule arche, eût-il trente, eût-il quarante, eût-il cinquante mètres de portée et même plus: seulement, on le conçoit, avec des portées aussi exagérées, il y aurait lieu d'établir un cintre un peu moins surbaissé que un dixième de flèche, et de réduire un peu moins l'épaisseur à la clef, épaisseur que peut-être il faudrait porter à un mètre cinquante ou deux mètres, si l'on construisait une arche de cinquante mètres d'ouverture.

Les culées d'un pont de ce genre seraient également en béton aggloméré, formant ainsi avec l'arc lui-même

un seul bloc, un tout monolithe, sans aucuns joints, sans fissures, sans tassements possibles; il est évident que, dans ces conditions, un pont présenterait les conditions les plus certaines d'une solidité infiniment supérieure.

La construction d'un pont de ce genre serait d'autant plus facile et économique que le cintrage, à beaucoup près, n'aurait pas besoin d'autant de solidité que pour les procédés ordinaires.

En effet, lorsque l'on construit un pont de pierres ou de briques, l'on donne toujours de grandes épaisseurs à la clef, ce qui augmente énormément le poids que le cintre a à supporter, poids énorme, gigantesque, puisque, jusqu'au moment de la pose de la clef de voûte, le cintre a à supporter le poids tout entier de la voûte même, et il doit le supporter sans fléchir.

L'emploi des bétons permet de réduire de beaucoup la solidité du cintre, et par conséquent réduit de beaucoup la dépense.

Lors donc que l'on veut construire un pont, on établit un cintre beaucoup moins fort que d'usage, mais à la condition que la surface en soit rabotée et aussi nette que possible, afin que le dessous de l'arc de béton qui se moule sur le cintre ait toute la netteté, tout le poli possible.

Quand le cintre est établi, au lieu de bâtir l'arc dans toute son épaisseur en partant des culées pour arriver de chaque côté jusqu'à la clef, ce qui chargerait presque autant le cintre que le font les procédés ordinaires, on commencerait à jeter sur le cintre un arc beaucoup plus mince que l'arc définitif.

Ainsi, si l'arc final du pont doit avoir un mètre cinquante d'épaisseur à la clef, le premier arc à jeter sur le cintre n'aurait que quarante à cinquante centimètres d'épaisseur.

Ensuite sur cet arc rigide en serait jeté un second qui, lui, aurait alors un mètre dix ou un mètre d'épaisseur, et auquel le premier servirait de cintre.

Par ce procédé on conçoit que le cintre, au lieu d'avoir à supporter le poids total de l'arc définif, n'aurait à supporter que le poids de l'arc de cinquante, c'est-à-dire le tiers du poids total.

Ce tour de main donnerait tout à la fois une grande économie sur les frais de cintrage et une solidité beaucoup plus grande pour l'arc de pont définitif.

Un pont de ce genre avec les culées formant un seul bloc sans joints, soit par l'économie du cintre, soit par le bas prix du béton aggloméré, reviendrait nécessairement à très-bas prix, à un prix sans rapport possible avec les prix ordinaires qui, on le sait, atteignent en certains cas des proportions exagérées.

Si, au lieu d'un pont d'une seule arche, il s'agissait de construire un pont qui en eût plusieurs, la difficulté serait accrue par la construction des piles; mais toutefois, nous le disons hautement, la difficulté ne serait pas plus grande pour le béton aggloméré que pour les maçonneries ordinaires, nous osons même dire qu'elles seraient beaucoup moindres.

Pour s'en rendre compte, il ne faut point oublier que dans certains cas, lorsqu'on a besoin d'une prise rapide, soit par l'emploi de matériaux de premier choix, soit par l'emploi de la chaleur, on pourrait

obtenir une prise intense, rapide, presque instantanée, de telle sorte que, soit que l'on construise dans des moules de tôle, comme au pont de Kehl, soit que l'on construise sur un radeau s'immergeant progressivement, toujours est-il qu'une maçonnerie de béton aggloméré, quoique à base de chaux, en moins de deux jours n'aurait rien à craindre des courants d'eau les plus violents; quelques jours suffiraient pour la mettre à l'abri de l'action des gelées.

La solidité d'une pile de béton aggloméré d'un seul bloc serait si grande, la prise de ce béton serait si prompte et si énergique, qu'il est permis de concevoir pour des cours d'eau de faible profondeur ou de faible pente, la possibilité de faire des moules en tôle composés de nombreux compartiments reliés entre eux par des vis dont la tête serait hors de l'eau, capacité dont la forme intérieure servirait de moule aux blocs de béton, de telle manière que lorsque ce moule serait plein on desserrerait les vis, on le démonterait pour le remonter immédiatement afin de faire une seconde pile, laissant ainsi au bout de quelques jours le bloc, la pile qui aurait été moulée, exposés sans abri au courant de l'eau.

Ce système de moulage des piles des ponts n'offrirait pas évidemment de difficulté à beaucoup près aussi grande que la construction des piles du pont du Rhin, et les hommes de l'art auront bientôt trouvé les moyens les plus simples et les moins coûteux de mouler, d'établir ces piles monolithes de béton aggloméré.

Or, si le béton aggloméré coûte beaucoup moins cher que la maçonnerie de pierres de taille dures, si le cin-

trage est la moitié moins fort, si le moulage et le monolithisme des piles en facilitent la construction, il est de toute évidence que tout en présentant une solidité à toute épreuve et des conditions de durée sans limites, un pont de béton ne coûterait pas le quart de ce que coûte aujourd'hui un pont de pierres de taille.

Par conséquent, au lieu de construire encore ces ponts de fil de fer, proie inévitable et rapide de la rouille, voués fatalement à une chute plus ou moins prompte, mais certaine, il serait possible, sans dépenser plus que ne coûterait un pont suspendu, de bâtir des ponts d'un seul bloc, arcs, piles et culées, et d'obtenir par ce moyen une durée et une sécurité éternelles.

Si l'on peut faire de grands ponts, il sera bien plus facile encore d'en faire de petits, pour franchir les petites rivières, les torrents, les ruisseaux, ainsi que pour la construction des routes: cela serait si facile, en vérité, et coûterait si peu qu'il est inutile de s'y arrêter davantage; nous en avons dit assez pour appeler l'attention du public et des hommes compétents.

DES AQUEDUCS ET DES VIADUCS.

Si, par l'emploi des bétons agglomérés, la dureté, la résistance aux intempéries, l'imperméabilité, le monolithisme, la résistance à l'écrasement et à l'arrachement, et enfin le bon marché, offrent de si grands avantages pour les barrages, digues, ponts, citernes et réservoirs d'eau, ces avantages ne sont pas moindres pour les aqueducs et viaducs, car ils satisfont à toutes les exigences de ce genre de travaux.

L'imperméabilité et la résistance aux gelées permettent, ce qui est presque impossible aujourd'hui, de construire les aqueducs aussi bien au-dessus du sol qu'au-dessous.

Le bon marché peut permettre de doter toutes les villes d'un large système d'approvisionnement d'eaux potables, dont elles sont privées aujourd'hui par la grande dépense qu'entraînent les procédés actuels; c'est ainsi qu'il est permis d'affirmer qu'au lieu de dépenser quatre-vingts ou cent millions, comme a fait la ville de New-York, en construction d'aqueducs et de réservoirs, on eût pu n'en dépenser que la moitié et peut-être beaucoup moins encore si l'on eût employé les bétons agglomérés.

La dépense serait, par cet emploi, d'autant plus réduite que, par la résistance considérable à l'arrachement que présentent les aqueducs en bétons agglomé-

rés, ils peuvent supporter des pressions énormes sans se rompre, ce qui permet de faire usage de siphons et de franchir par ce moyen des vallées profondes.

En effet, si nous admettons, et nous persistons à affirmer que rien n'est plus réel, que des bétons agglomérés offrent une résistance minimum à l'arrachement de dix kilos par centimètre carré, nous trouverons qu'un tube, un siphon de béton de un mètre de diamètre intérieur sur cinquante centimètres d'épaisseur aux parois, présente pour chaque mètre de hauteur, en supposant une section longitudinale, une surface totale d'un mètre pour la section des deux parois, soit dix mille centimètres carrés, lesquels résistant à un arrachement de dix kilos, offrent une force de résistance totale de cent mille kilogrammes, et pourraient par conséquent supporter sans se rompre une colonne d'eau de cent mètres équivalant à la pression de neuf atmosphères.

Si les parois de ce siphon en béton aggloméré avaient un mètre d'épaisseur, elles résisteraient à la pression d'une colonne d'eau de deux cents mètres.

Cette résistance à la pression est un élément nouveau complétement inconnu aux Romains, qui étaient forcés de franchir les vallées en élevant le niveau des eaux pour éviter la pression, au moyen d'arcades fort élevées et par conséquent fort coûteuses.

Sans doute une épaisseur d'un mètre dans le bas des vallées, quand on aurait à vaincre des pressions de quinze à vingt atmosphères, n'aurait rien de trop exagéré, d'autant moins qu'en s'élevant vers le haut de ces vallées, la pression diminuant, l'épaisseur pourrait aussi diminuer dans la même proportion.

Mais, le monolithisme établissant la solidarité dans toutes les parties d'un tube ou aqueduc, il paraît évident que la rupture sous la pression ne pourrait avoir lieu sur un point déterminé, sans rompre en même temps ce tube ou aqueduc dans une grande partie de sa longueur; de telle sorte que la pression de l'eau aurait en réalité à vaincre la résistance, non pas d'un mètre de section, mais bien de deux, de dix, de vingt mètres, ce qui, sans aucun doute, permettrait de réduire considérablement les épaisseurs des parois.

Cette épaisseur pourrait être d'autant mieux réduite que l'on pourrait introduire, ainsi que nous l'avons dit plus haut, des matières textiles, du fil de fer haché dans la pâte même du béton et pendant sa confection : dans ce cas il faudrait ajouter à la résistance propre des bétons celle que pourraient offrir ces matières elles-mêmes.

De ce qui précède, il résulte que l'emploi des bétons agglomérés est merveilleusement approprié à la construction de tous aqueducs et services d'eau pour les villes; il résout facilement et sans exception toutes les difficultés que présente ce genre de travail, aussi bien en ce qui concerne l'aqueduc proprement dit que pour les tubes de conduite dans les rues, pour les bassins et réservoirs; bien mieux que tous les autres systèmes de maçonnerie, il donne la résistance à la rupture, l'étanchéité, la durée, puisque le béton aggloméré est insensible aux gelées, et que le temps ne fait que l'améliorer, soit par l'effet de l'absorption de l'acide carbonique de l'air, soit bien plus encore par l'effet de l'incrustation produite au contact des eaux qui tiennent toujours en dissolution des bicarbonates de chaux; il donne sur-

tout l'extrême bon marché qui peut permettre de doter d'eau potable des villes qui, sans cela, vu la grande dépense, n'auraient pu se servir des moyens actuels de construction si peu solides quoique si coûteux.

Ces avantages des bétons agglomérés restent les mêmes pour la construction des viaducs, genre de construction très-rarement mis en usage avant la création des chemins de fer, mais dont les applications deviennent désormais de plus en plus nombreuses, et qui le deviendraient bien plus encore si leur prix de revient par les procédés actuels n'était pas aussi exagéré.

Les viaducs, on le sait, forment assez ordinairement une série d'arcades plus ou moins élevées, selon que l'on veut élever plus ou moins au-dessus du sol le niveau des voies de communication.

Le pont du Gard, tout à la fois pont, viaduc et aqueduc, est un des plus remarquables travaux de ce genre.

A Londres, les premiers chemins de fer, et notamment celui de Greenwich, sont établis sur des séries d'arcades ayant plusieurs lieues de longueur, et assez élevées pour franchir une partie de la ville par-dessus le toit des maisons.

En France il en existe maintenant un grand nombre, parmi lesquels le viaduc de Barentin a acquis une triste renommée par l'écroulement qu'il a subi lors de sa construction.

La hauteur des pieds-droits de ces arcades atteint quelquefois cinquante à soixante mètres et plus, et certainement en certains cas les ingénieurs les élèveraient bien plus haut encore si, ayant à redouter l'écrase-

ment, ils n'étaient pas obligés d'employer les matériaux de premier ordre, qui entraînent forcément des dépenses excessives.

L'emploi du béton aggloméré, par le bon marché et par sa résistance pour ainsi dire illimitée, permettrait toutes les hardiesses même les plus exagérées.

Quant au bon marché, il résulterait du bas prix de revient du béton lui-même; mais il proviendrait en outre de ce que, dans un viaduc, les pieds-droits ayant tous la même forme, le même moule pourrait servir pour tous et n'entraînerait que de très-faibles dépenses.

Mais quant à la résistance, elle pourrait être telle, selon la composition que l'on emploierait, que les matériaux les plus volumineux, les plus durs, les meilleures pierres de taille peuvent à peine en donner l'idée.

Nous disons la pierre de taille, parce que, lorsqu'il s'agit de grandes hauteurs, l'on ne peut employer les moellons, qui, sous le poids du massif, par leur forme irrégulière, par les vides existant toujours entre eux, s'écraseraient, se déplaceraient sous la pression, entraînant ainsi la destruction du travail.

Si, comme à Barentin, l'on construit en briques, non-seulement il faudra employer des briques spéciales, d'un prix très-élevé, capables de résister aux gelées et à l'humidité, et assez dures pour supporter un poids considérable sans s'écraser; mais encore il y aura à redouter l'écrasement des joints, si prodigieusement multipliés dans la construction de briques, s'ils sont faits en mortier de chaux; il faudra donc faire les

joints au ciment, ce qui est fort coûteux, et finalement le résultat que l'on obtiendra n'offrira qu'une solidité médiocre et peu de chance d'une longue durée.

Pour obtenir une solidité complétement satisfaisante, il faudrait construire les piles du viaduc en larges assises régulières de pierres de taille d'excellente qualité; mais dans ce cas la dépense serait trop considérable : aussi en général se contente-t-on de bâtir le parement seul en pierres de taille, et l'intérieur du massif est construit en moellons, ce qui diminue beaucoup la solidité et les chances de durée.

Les piles monolithes de béton aggloméré présenteraient une supériorité de solidité plus grande encore qu'on ne saurait l'obtenir de la meilleure pierre de taille.

En effet, si la résistance à l'arrachement des bétons agglomérés bien préparés s'élève à un minimum que nous avons admis être dix kilogrammes par centimètre carré, sa résistance à l'écrasement atteint des proportions inouïes; l'on en pourra juger par ce qui se passe pour les chaussées sur lesquelles les voitures les plus lourdes, pesant six, huit, dix mille kilos, circulent, pivotent sans produire le moindre écrasement, ce qui indique évidemment une résistance à l'écrasement de plusieurs centaines de kilos par centimètre carré.

D'autres expériences ont été faites; des pierres de béton aggloméré, ayant soixante-dix centimètres de diamètre et douze centimètres d'épaisseur, ont été posées comme bouchons d'une citerne également en béton aggloméré située sous un passage de voitures, et sur laquelle il en passe chaque jour une centaine dont le poids dépasse

souvent cinq mille kilogrammes; cette pierre obturante est sur le passage même des voitures qui roulent forcément sur elle sans parvenir à la rompre, ce qui indique évidemment dans le béton aggloméré une résistance prodigieuse à l'écrasement.

Si donc on élève une pile de viaduc en béton aggloméré d'aussi bonne qualité que celui dont il vient d'être question, il est certain que, grâce à l'absence de joints, au monolithisme, à la solidarité de la masse, on pourra élever la maçonnerie aussi haut qu'on le voudra, même à plusieurs centaines de mètres, sans avoir à redouter les tassements ni l'écrasement.

Un simple calcul le démontrera surabondamment. Nous avons dit que de bon béton aggloméré à l'état monolithe supporte sans s'écraser deux ou trois cents kilogrammes par centimètre carré et peut-être beaucoup plus; or, un mètre représentant une surface de dix mille centimètres carrés pourrait donc supporter sans s'écraser un poids prodigieux de un, deux, trois millions de kilos et plus; par conséquent, puisque un mètre cube de bétons agglomérés pèse deux mille quatre cents kilos, il faudrait élever le bloc de béton de cinq cents, de mille mètres et plus pour commencer à produire l'écrasement,

Quelque exagérée que puisse paraître cette affirmation, elle est loin peut-être d'atteindre la vérité; car, en prenant encore l'exemple dans les chaussées en béton, quand on voit des voitures écraser à la surface du béton des morceaux de silex, broyer du sable, quand les roues tournent sur elles-mêmes, qui saurait dire la charge à l'écrasement qui résulte du poids des voi-

tures en mouvement pivotant peut-être sur un seul centimètre?

Mais il n'est pas besoin de s'égarer aussi loin, il suffit de dire qu'une pile de viaduc serait un bloc aussi dur que la meilleure pierre et qu'elle serait un monolithe.

PUITS DE MINE

ET AUTRES.

Les propriétés du béton aggloméré, son imperméabilité, sa résistance extrême à l'écrasement, peuvent être utilisées dans la construction des puits de vastes dimensions et notamment des puits de mine.

Déjà, dans des cas nombreux, on opère le cuvelage des puits de mines au moyen de segments de fonte assemblés hermétiquement, cuvelage résistant et étanche que l'on fait descendre tout assemblé dans le puits au fur et à mesure qu'on le creuse ; souvent même, pour le faire descendre, pour le faire glisser, malgré la compression des terres qui l'entourent, qui le pressent, on est obligé de le charger outre mesure.

Par cet artifice d'un cuvelage étanche, on se met à l'abri des inconvénients des cuvelages et des constructions en pierres ou en bois, et surtout on empêche les eaux extérieures de pénétrer par les parois ; les eaux ne peuvent plus pénétrer que par la partie inférieure, de telle sorte qu'en établissant des pompes suffisamment puissantes pour enlever l'eau qui peut y affluer, les ouvriers peuvent continuer de creuser le terrain sous les parois du cuvelage de fonte qui s'enfonce par son propre poids aussitôt que le terrain manque sous lui.

Dans une manufacture nouvellement bâtie d'après les plans de M. Muller, ingénieur civil, un procédé

analogue a été mis en pratique pour établir un puits ordinaire de cinq mètres de diamètre environ, dans un terrain de sable mouvant et de gravier; le cuvelage est fait en briques: seulement, la construction s'accomplit au niveau du sol, dans lequel il s'enfonce par son propre poids au fur et à mesure que les ouvriers retirent de dessous la paroi de briques le gravier qui la soutenait.

Des moyens analogues peuvent être employés avec un bien plus grand avantage encore d'économie, de solidité et de sécurité, en remplaçant la brique par le béton aggloméré.

Il ne faut point oublier, en effet, que, quand on le veut, quand les circonstances l'exigent, en employant de bons matériaux et au besoin en faisant usage de la chaleur, on obtient des bétons qui en moins de vingt-quatre heures acquièrent la dureté de la meilleure pierre, dureté à laquelle il faut joindre l'imperméabilité la plus complète et une résistance formidable à l'arrachement et à l'écrasement.

Si donc on établit une espèce d'armature en fonte ayant la forme d'un soc circulaire, d'un emporte-pièce, s'élargissant assez dans le haut pour pouvoir servir d'assise à une maçonnerie suffisamment épaisse, on comprendra que sur cet anneau tranchant à sa base on peut établir un anneau de béton ayant une épaisseur de quarante, de cinquante, de soixante centimètres et au delà si on veut.

Les ouvriers mineurs déblayent le terrain dans l'intérieur de cet anneau et jusqu'au-dessous de la partie tranchante, jusqu'à ce que le terrain venant à man-

quer, l'anneau s'enfonce, et alors, pour continuer le travail, on construit hors du sol un nouvel anneau de béton qui se soude à l'anneau déjà précédemment fait, et chaque jour, au fur et à mesure du creusement et de la descente de ce tube de béton, on ajoute une nouvelle assise qui se soude aux assises précédentes, sans qu'il puisse y avoir aucune limite aux additions de béton, et par conséquent à la longueur des tubes et la profondeur des puits.

La descente de ce tube ne peut pas plus être entravée par la pression des terres que ne pourrait l'être un cuvelage en fonte.

Car, au moyen du moulage, par un simple lissage à la truelle opéré pendant que le béton est encore frais, on obtient une maçonnerie aussi lisse que du marbre poli, bien plus lisse que la fonte elle-même, toujours pleine d'irrégularités par ses assemblages, surface polie qui glisserait malgré la pression des terres ambiantes.

Un tube de béton ainsi préparé, ayant la plus parfaite étanchéité, retiendrait aussi bien l'eau qu'un cuvelage en fonte et probablement beaucoup mieux, car un cuvelage en fonte a beaucoup de joints, et tout le monde sait combien il est difficile de faire de bons joints surtout de grande portée, comme dans ce cas, tandis que le béton aggloméré sans joints serait partout le même, c'est-à-dire homogène et résistant.

D'un autre côté, le béton aurait sur la fonte l'avantage de présenter un beaucoup plus grand poids, puisqu'il aurait une bien plus grande épaisseur, poids qui, au besoin, pourrait être considérablement accru en élevant l'anneau de béton jusqu'à ce que la hauteur

devînt suffisante pour déterminer par son poids le glissement du cuvelage.

Reste à savoir si le béton aggloméré pourrait supporter la pression extérieure des eaux et des terres, surtout en arrivant à une grande profondeur, où des pressions de plusieurs centaines de mètres d'eau peuvent s'établir : or, ce que nous avons dit plus haut en parlant des viaducs et des pressions qu'une maçonnerie de béton pourrait supporter sans s'écraser, prouve de reste que le béton aggloméré offre une résistance bien plus que suffisante.

Admettons qu'il s'agisse d'un puits de trois mètres de diamètre intérieur, et ayant des parois de cinquante centimètres d'épaisseur.

Admettons encore que ce tube doive subir une pression de cinq cents mètres de hauteur d'eau.

Nous reconnaîtrons que si l'on admet, ce qui est bien au-dessous de la vérité, que chaque centimètre de béton aggloméré peut supporter sans s'écraser un poids de cent kilos et au delà, ce qui est plus que démontré par les chaussées, un cuvelage de béton offrirait une résistance beaucoup plus grande qu'il ne serait nécessaire, même pour parvenir aux plus grandes profondeurs qui aient jamais été atteintes dans la pratique.

En effet, si une maçonnerie de béton aggloméré peut supporter sans s'écraser une pression de plusieurs centaines de kilos par centimètre, il est évident qu'à une profondeur de cinq cents mètres, la pression de l'eau, au maximum, ne pouvant être que de cinquante kilogrammes, la force de résistance du béton serait infiniment plus grande qu'il ne faudrait pour vaincre une pres-

sion de ce genre, de telle sorte que non-seulement elle ferait face à la pression des eaux, mais encore elle pourrait supporter sans fléchir le glissement et la pression des terres mobiles.

Le béton aggloméré offre donc au moins dans ce cas, s'il ne les dépasse, tous les avantages de la fonte ; en conséquence, puisqu'il possède une complète étanchéité, une parfaite résistance, rien n'empêche de concevoir que lorsque l'on sera arrivé à la région des eaux, on n'établisse dans la partie inférieure du cuvelage de béton un appareil à air comprimé semblable ou analogue à celui dont on s'est servi avec tant de succès pour établir les piles du pont du Rhin à Kehl, lequel, refoulant hors du tube de béton l'eau qui y aurait pénétré, permettrait aux ouvriers d'opérer le creusement avec une grande facilité.

Cet emploi des bétons agglomérés présenterait sur les moyens actuels un avantage évident de simplicité et d'économie, économie en ce sens que le béton coûte moins cher que la fonte, mais surtout en ce sens que le travail serait bien plus prompt et bien plus sûr.

Mais le point sur lequel le béton présente un avantage qui le rend infiniment supérieur à la fonte et surtout au bois, est que dans ces régions profondes où la température est élevée, où les terres et les eaux sont chargées de sulfures, de matières oxydantes, la fonte et le bois périssent avec rapidité, compromettant ainsi la sécurité des travailleurs et la durée des travaux, tandis que le béton s'améliore, il durcit, il devient plus étanche si c'est possible, il s'incruste jusqu'à ne former qu'un seul bloc plus dur que le granit.

D'après ce qui précède, il y a lieu de croire que lorsque l'usage du béton aggloméré sera vulgarisé, il remplacera complétement la fonte, le bois et la pierre dans la construction des puits de mine.

DES MASSIFS DE MACHINES.

La faculté de pouvoir, au moyen des bétons agglomérés, obtenir une maçonnerie qui permette de souder le travail du jour au travail de la veille, et d'obtenir ainsi des blocs monolithes de dimensions illimitées, trouve un bien heureux emploi dans la confection des massifs de maçonnerie destinés à fixer au sol les machines à vapeur et autres.

Dans l'état actuel des choses, ces massifs sont faits en pierres de taille; ils coûtent donc nécessairement fort cher, puisqu'ils ne faut rien moins qu'un mètre cube de maçonnerie pour la force de chaque cheval, ce qui, pour des machines de trois ou quatre cents chevaux, entraîne une dépense vraiment excessive, tout en ne donnant pas toujours une assise suffisamment solide ; car, après tout, un bloc, quoique composé de pierres de taille, n'est point un monolithe : il y a des joints qui s'écrasent, des tassements qui s'opèrent, et souvent des ébranlements se produisent qui tôt ou tard amènent la perte des machines.

Avec la maçonnerie de bétons agglomérés tous ces défauts disparaissent.

Les blocs dans toute leur masse forment un monolithe aussi dur que la meilleure pierre, ne pouvant jamais donner lieu à des tassements ni à des ébranlements, puisqu'ils ne présentent aucuns joints.

Cet état monolithe donnant une assiette bien plus solide, permet de diminuer les cubes ordinairement employés dans les massifs de machines à vapeur, ce qui, joint à ce que le mètre cube de maçonnerie monolithe de béton aggloméré coûte beaucoup moins cher que la pierre de taille, détermine une économie très-considérable, telle, que nous avons pu établir, avec un grand rabais sur le prix ordinaire, dans la manufacture des tabacs à Châteauroux, deux massifs de machines à vapeur ayant chacune la force de trente chevaux.

Quant il s'agit de machines à vapeur ou autres, où l'on ne demande que de la gravité, de la pesanteur, du monolithisme, on peut se contenter d'employer des bétons agglomérés ayant seulement la dureté de la meilleure pierre de taille ; mais quand il s'agira d'établir des massifs destinés à subir des chocs ou de l'arrachement comme en donneraient des pompes puissantes, ou des marteaux-pilons, des martinets, des cylindres de laminoirs, il faudra alors employer des bétons ayant pour base des matériaux de premier ordre ainsi qu'on les emploierait pour les chaussées, matériaux qui, bien préparés, donnent des résistances de dix, vingt, trente kilos à l'arrachement et des centaines de kilos à l'écrasement.

Une maçonnerie de ce genre, aussi dure que le granit, trouverait dans le monolithisme une puissance de résistance complétement inconnue par les moyens ordinaires.

C'est ainsi, par exemple, que dans les grandes forges, tous les engins, machines à vapeur, laminoirs, martinets, marteaux-pilons, pourront être scellés au moyen

de boulons sur un bloc monolithe immense qui aurait plusieurs mètres d'épaisseur, et qui occuperait toute la superficie du sol de l'atelier.

Ce bloc gigantesque, ayant une certaine élasticité, répartirait dans la masse entière les tractions, les chocs qui se produisent par le travail.

C'est encore ainsi que, grâce au monolithisme, il suffit de quelques boulons pour fixer à des murs de béton aggloméré les transmissions de mouvements, leurs chaises et leurs palliers, sans avoir recours comme aujourd'hui à aucun artifice de consolidation. Ces boulons traversent les murs ou les massifs fortement serrés par des écrous, et suffisent à toutes les exigences même les plus grandes.

TURBINES

ET

ROUES HYDRAULIQUES.

Quoique cette application des bétons agglomérés soit, par rapport à celles que nous venons de citer, de peu d'importance, nous ne croyons pas inutile pourtant de rappeler que la maçonnerie de bétons agglomérés pouvant recevoir par le moulage toutes les formes désirées, il devient possible, par ce moyen, de donner aux parois des turbines et des roues hydrauliques toute l'exactitude rigoureuse des formes que peuvent exiger les calculs de l'ingénieur et du praticien.

Exactitude de formes à laquelle il faut joindre les avantages du monolithisme, qui, donnant une maçonnerie d'un seul bloc, sans joints, assez dure pour résister aux courants d'eau les plus violents et pour ne rien craindre des intempéries, doit donner une durée pour ainsi dire sans limites à un genre de travaux très-difficiles à construire dans la pratique actuelle, et d'une durée ordinairement très-bornée, soit par le fait de l'action érosive des eaux, soit par le fait des intempéries.

GRANDS TRAVAUX D'ART.

GRANDS TRAVAUX D'ART.

DES GRANDS TRAVAUX D'ART.

Sous le nom de grands travaux d'art et en dehors des travaux des ponts et chaussées, nous comprenons les bâtiments quelconques destinés à la réunion d'un grand nombre de personnes, palais, églises, théâtres, thermes, palais de justice, hôtels de ville, écoles, prisons, etc.

Ce genre de constructions, bien plus que les habitations privées, exige un développement d'étendue dans les divisions intérieures, une épaisseur et une solidité de maçonnerie bien supérieures à celles des maisons ordinaires, et pourtant il n'est pas rare de voir des monuments précieux et importants et surtout fort coûteux, menacer ruine fort peu de temps même après leur achèvement : nous citerons encore une fois la galerie du Louvre, le pavillon dans lequel se trouve l'appartement de S. M. l'Empereur, l'Institut, la terrasse du bord de l'eau au jardin des Tuileries, et tant d'autres qu'il serait trop long de citer.

Les causes de cette prompte destruction proviennent ou de fondations mal assises qui, par le tassement du sol, entraînent de faux aplombs et des dislocations dans la maçonnerie, ou d'un mauvais choix de matériaux, ou de conceptions erronées de l'architecte.

Malgré les progrès qu'a faits l'art de bâtir en ce qui concerne les fondations, malgré le remplacement des pilotis, des tranchées profondes, par des couches de sable, ce dernier procédé, bien qu'il ait été chau-

dement préconisé, ne nous paraît pas à beaucoup près le dernier mot de la perfection.

En tant que fondations, nous persistons à croire que l'on donnerait à tous les monuments de grandes dimensions, à tous ceux dont le prix de revient est considérable et dont la durée devrait être presque illimitée, une assiette à jamais inébranlable en les édifiant sur une nappe, sur un bloc monolithe de béton aggloméré.

Ainsi, par exemple, à Marseille, dans l'argile coulante des terrains de la Joliette; au Havre, dans les terrains glaiseux; à Paris, aux abords de la Seine, s'il s'agissait de construire une église ou un théâtre, au lieu de jeter des fondations comme d'usage, qui s'enfoncent dans la glaise sous le poids du bâtiment, dont la solidité est toujours gravement compromise, on jetterait un monolithe de béton ayant une superficie égale à celle du bâtiment tout entier, et débordant même cette superficie de un ou plusieurs mètres.

Si l'on se souvient que le béton aggloméré présente au minimum une résistance à l'arrachement de dix kilos par centimètre carré, on comprendra qu'un empâtement de ce béton de trois mètres d'épaisseur pourrait supporter par chaque mètre sans se rompre un poids de cent mille kilos, soit trois cent mille kilos pour trois mètres d'épaisseur.

Or, trois cent mille kilos représentent une hauteur de cent cinquante mètres de maçonnerie, puisque chaque mètre de maçonnerie ne pèse que deux mille kilos environ, ce qui est bien plus que suffisant pour la plupart des cas.

Si la hauteur devait être plus grande il n'y aurait qu'à donner une plus grande épaisseur aux blocs de béton. Mais comme la pesanteur d'une maçonnerie, au lieu de porter sur un seul point, se trouverait répartie sur une grande étendue d'un bloc monolithe, il ne serait pas nécessaire de recourir à de plus grandes épaisseurs, et le plus souvent même cette épaisseur pourrait être considérablement réduite.

C'est ainsi que sans aucune chance de danger, avec la plus complète certitude, avec une dépense insignifiante relativement à ce que coûtent ordinairement des fondations faites dans des terrains mouvants et artificiellement consolidés, et à la valeur des monuments qu'il s'agit de bâtir, en donnant simplement au bloc de béton une épaisseur proportionnelle à la hauteur du bâtiment à supporter, on arriverait même dans les terrains mouvants à pouvoir élever les flèches élancées des monuments gothiques ou les lourdes coupoles de l'architecture romaine.

Ainsi que nous l'avons déjà dit à propos des habitations des villes, avec un empâtement de fondations de ce genre, surtout si jusqu'au niveau du sol les fondations du pourtour du bâtiment étaient également construites en béton aggloméré, sans ouvertures et à l'état complétement monolithe, ces maçonneries de béton aggloméré étant absolument étanches, les eaux extérieures ne pourraient en aucun cas pénétrer à l'intérieur, alors même qu'elles séjourneraient en permanence et même jusqu'au niveau du sol.

Au moyen de ces précautions, les sous-sols de tous bâtiments quelconques seraient à l'abri de toute invasion

d'eau par inondation ou autrement, et même à l'abri de l'humidité soit par l'imperméabilité même des bétons, soit parce que rien ne serait plus facile que de recouvrir la surface extérieure de ces murs de bétons agglomérés, toujours lisses comme de la pierre de taille, d'un enduit protecteur, d'une peinture au biphosphate de chaux, au silicate de potasse, etc., moyen impraticable avec la maçonnerie ordinaire, vu la quantité de joints et la perméabilité de ce genre de maçonnerie.

Moyennant cette couche générale de béton aggloméré, les monuments publics n'auraient plus rien à redouter des affaissements de terrains, des tassements.

Le béton aggloméré supprimerait encore les causes de destruction provenant du mauvais choix des matériaux.

Dans certaines contrées, à Paris, par exemple, les seules pierres que l'on trouve à proximité sont des calcaires plus ou moins tendres; un grand nombre d'entre eux sont, dans toute leur masse, absorbants et gélifs; d'autres ne le sont que par couches ou par parties.

Si l'on emploie des calcaires de ce genre pour faire les fondations de bâtiments très-lourds et très-élevés, comme dans les fondations de l'Institut, de la galerie du Louvre, on trouve au bout d'un certain temps qu'au contact de l'humidité permanente du sol et des infiltrations, ces pierres subissent le salpêtrage, se ramollissent et s'écrasent sous le poids dont elles sont chargées, compromettant ainsi la solidité des bâtiments qu'elles ont à supporter.

Si, au contraire, ces pierres sont employées à l'air

dans des murs en élévation, un effet analogue se produit : les pluies peu à peu les pénètrent, les ramollissent, les dissolvent pour ainsi dire et sans doute en vertu d'un phénomène analogue à celui que produit l'eau de mer, et alors les gelées amènent des dégradations et même la destruction complète.

Avec les bétons agglomérés il n'y a rien à craindre de ce genre : qu'ils soient employés comme fondations ou hors du sol en élévation, leur durcissement est égal dans les deux cas.

Ce durcissement, que l'on peut à volonté porter jusqu'à une résistance à l'écrasement de plusieurs centaines de kilogrammes par centimètre carré, est bien plus que suffisant pour faire face à toutes les exigences, puisque cette résistance, égale à celle des pierres les plus dures, est décuplée peut-être par le monolithisme, qui donne à toute la masse une fixité, une solidarité dont les procédés ordinaires ne peuvent pas approcher.

La solidité est encore accrue par l'absence de joints toujours si multipliés dans la maçonnerie ordinaire même de pierres de taille, joints qui se ramollissent à la longue et s'écrasent, entraînant ainsi de faux niveaux et des tassements.

Donc une construction monolithe de béton aggloméré, par sa dureté intrinsèque, égale à celle des pierres les plus dures, n'a rien à redouter de l'écrasement direct par excès de poids, rien surtout à craindre de l'écrasement des joints.

Elle a bien moins à craindre encore de l'écrasement produit à la longue par le ramollissement des maté-

riaux au contact permanent de l'humidité, ou de l'action des gelées.

Loin de s'altérer comme la pierre, le béton aggloméré, par l'absorption de l'acide carbonique de l'air, par les incrustations de bicarbonate existant dans les eaux qui peuvent l'imprégner, le béton aggloméré, disons-nous, va dans le temps en durcissant sans cesse.

Un béton qui au bout de huit jours est dur comme de bon calcaire de Paris, au bout d'un an est dur comme du calcaire jurassique; si au contraire au début il est dur comme le calcaire jurassique, en moins d'un an il sera dur comme du granit, comme du porphyre.

Or, non-seulement le béton aggloméré est dur, mais encore il est imperméable, et il ne craint rien des gelées ni des autres intempéries; étant imperméable, il ne peut être soumis à des infiltrations, par conséquent il ne peut se ramollir ni s'écraser.

Ne craignant rien des gelées ni des autres intempéries, au lieu de se dégrader comme la pierre, il continuera imperturbablement et incessamment à l'air son durcissement progressif.

Au lieu d'altérer une maçonnerie de béton aggloméré, le temps, les intempéries ne font que le consolider et augmenter chaque jour les chances de durée.

Donc, par l'emploi des bétons agglomérés il n'y a rien à craindre du côté de la qualité des matériaux.

Restent donc les combinaisons erronées d'architecture; ces erreurs, il faut le dire, sont bien rares, si toutefois elles existent; car les architectes se conforment volontiers aux lois reconnues et expérimentées de l'art de bâtir.

Mais quelquefois malheureusement lorsqu'ils ont à se livrer à des hardiesses inusitées, les matériaux leur font défaut, les fondations tassent, les pierres s'écrasent, la gelée les attaque, toutes choses que l'artiste le plus distingué ne peut pas toujours prévenir.

La propriété du monolithisme des bétons agglomérés, leur dureté excessive, leur résistance à toutes les causes de destruction, peuvent donner à l'architecture une sécurité inconnue jusqu'à ce jour; plus de tassements, plus d'écrasements, plus de dégradations par les eaux et les gelées : tels sont les éléments nouveaux de sécurité que peuvent y trouver les hommes de l'art.

Avant d'aller plus loin, nous devons convenir tout d'abord que les façades, la forme artistique, l'ornementation, restent complétement en dehors de l'emploi des bétons agglomérés sous forme monolithe, à moins que cette ornementation ne soit très-simple. Lors donc qu'il s'agira d'édifier de vastes monuments à façades ornées, ces façades devront être bâties ou en pierres naturelles suivant l'usage, ou en pierres artificielles de béton aggloméré; car, pour les obtenir en béton aggloméré à l'état monolithe, moulé, orné sur le mur même, souvent à de très-grandes hauteurs, ce moulage présenterait de telles difficultés, donnerait lieu à tant de faux frais et présenterait tant de chances d'imperfection à l'exécution, qu'il vaut mieux y renoncer systématiquement d'avance, sauf dans des cas spéciaux exigeant le monolithisme absolu.

Il faut donc réserver les bétons agglomérés moulés sur place à l'état monolithe, aux fondations, aux murs

de refend, aux murs sans ornements, aux voûtes, aux planchers, aux toitures, aux dallages; nous allons voir que cela suffit pour faire reconnaître que l'emploi des bétons agglomérés sont bien, ainsi que nous l'avons dit, la révolution dans l'art de construire.

L'emploi des bétons agglomérés, par le fait de cette énorme résistance à l'écrasement et aux tassements, offre bien évidemment à l'art de bâtir une supériorité de garantie que l'on ne pourrait attendre des moyens ordinaires. Mais cette supériorité ressort bien plus encore de l'état de monolithisme qui distingue les maçonneries de béton, lequel ouvre un champ sans limites et complétement inexploré, jusqu'à ce jour du moins, d'une manière pratique et régulière, à toutes les hardiesses de l'architecture.

On conçoit en effet que la possibilité de faire les voûtes même de la plus grande dimension, en un seul bloc, sans aucuns joints, au moyen d'une matière aussi dure sinon beaucoup plus que la pierre la plus dure, conduit nécessairement par excès de solidité, soit à réduire les épaisseurs, soit à accroître la hauteur ou augmenter la portée des voûtes, et en même temps à supprimer ou du moins à réduire de beaucoup les moyens artificiels de consolidation des voûtes, les contre-forts, les arcs-boutants.

Cette puissance du monolithisme s'applique aux voûtes de toutes les formes, aussi bien à la forme ogivale qu'à celle du plein cintre et même et surtout aux voûtes surbaissées.

C'est ainsi que si l'on construit des voûtes d'église, si ces voûtes sont en ogive, on n'aura pas besoin d'avoir

recours aux arcs-boutants, aux contre-forts pour maintenir la voûte; artifices hostiles à l'art, aux perspectives, et qui n'empêchent point les églises d'architecture gothique d'être toujours sur le bord de la ruine.

Si ces voûtes sont à plein cintre, l'on pourra en réduire de beaucoup les épaisseurs, ou du moins augmenter de beaucoup leur portée.

Cette puissance nouvelle, due au monolithisme, peut trouver surtout son emploi dans la construction des coupoles et des dômes que l'on n'a pu jusqu'à présent porter à des diamètres considérables, comme celui de l'église de Saint-Pierre à Rome (33 mètres), ou du Panthéon à Paris, qu'en entassant des carrières de pierres, au prix de dépenses effroyables; tandis qu'en béton aggloméré, de deux choses l'une, ou le poids pourrait être considérablement diminué par une réduction très-grande de l'épaisseur, ou la portée à poids égal pourrait être largement augmentée.

Nous disons que l'épaisseur pourrait être grandement diminuée, parce qu'une voûte monolithe ne tend pas à la chute comme les voûtes de menus matériaux, qui ne se tiennent à hauteur qu'en s'arc-boutant, en se pressant, en s'écrasant dans le sens du centre de gravité, tandis qu'avec une voûte à l'état monolithe nulle partie ne tend à s'écrouler, aucun joint ne peut céder, nul tassement ne peut se produire; il y a dans l'ensemble une solidarité, une constitution tellement harmonique et équilibrée des forces concentriques, que, relativement aux masses ordinairement usitées, on peut affirmer qu'une voûte en béton aggloméré se comporterait comme une coquille d'œuf.

Nous croyons ne rien exagérer en disant qu'une coupole de vingt mètres de diamètre serait trop largement établie en force si elle avait à la clef cinquante centimètres d'épaisseur.

Un autre avantage des voûtes en bétons agglomérés pour églises, pour coupoles, dômes, pour grands monuments, est qu'étant absolument imperméables et insensibles aux intempéries, elles peuvent former toiture, sans aucune peinture, sans aucun enduit, sans abri d'aucune espèce, de telle sorte que l'on économiserait par ce moyen et le bois, et le fer, et le plomb, et le zinc, et surtout l'on éviterait les frais d'entretien si onéreux qu'entraîne la conservation des monuments anciens, et on les mettrait à l'abri de l'incendie, considération capitale quand on songe aux pertes nombreuses que l'art a éprouvées par le fait des incendies fortuits.

Cette puissance d'étancheité et de résistance aux intempéries qui rend les bétons agglomérés si merveilleusement propres, dans les climats du nord, à la construction des toitures de toute espèce, est l'une des garanties les plus certaines de durée et de conservation des monuments; quant aux voûtes surbaissées, on peut dire que leur étendue ne connaît pas de limites.

En effet, une voûte surbaissée, quelque grande qu'elle soit, peut être considérée comme une dalle évidée; or, si l'on admet ce que nous avons affirmé, que le béton aggloméré possède une force minimum de résistance à l'arrachement de dix kilos au moins par centimètre carré, on conçoit que pour une surface quelconque il suffira d'augmenter ou de diminuer l'épaisseur d'une dalle, ou

plutôt d'un bloc, selon que la portée sera plus ou moins grande.

Ainsi, par exemple, une dalle carrée de béton aggloméré de trois mètres de côté, soit neuf mètres carrés superficiels, peut être élevée sur des murs sans se rompre tout en n'ayant qu'une épaisseur de dix centimètres. Ceci est prouvé par l'expérience.

Si, au lieu de trois mètres de côté, on élevait la portée à cinq, à quinze, à vingt mètres, il faudrait augmenter l'épaisseur de cette dalle non-seulement en proportion de l'augmentation du poids de cette dalle, mais bien plus encore pour faire face à la force de levier qui augmente au centre en proportion et au fur et à mesure que la portée augmente.

En effet, s'il n'était pas nécessaire de tenir compte de la force de levier, s'il suffisait de tenir compte simplement du poids spécifique, une dalle de quatre cents mètres superficiels, soit de vingt mètres de côté, n'exigerait pas une épaisseur de plus de cinquante centimètres.

Mais en tenant compte de la force de levier on reconnaît qu'une épaisseur de deux mètres serait peut-être nécessaire, mais bien largement suffisante pour résister à la rupture d'une dalle carrée immense de vingt mètres de côté, reposant par ses bords sur quatre murs formant eux-mêmes un carré.

Si, au lieu de vingt mètres, on avait besoin de trente, de quarante mètres, on aurait à porter l'épaisseur de la dalle de béton aggloméré à quatre, à six, à huit mètres, et par ce moyen l'on résisterait à la chute.

Peut-être dira-t-on qu'il n'est point praticable de placer

des poids aussi prodigieux au sommet des constructions, ils donneraient nécessairement lieu à des tassements, à des écrasements.

A cela il y a à répondre que si les murs chargés de porter ces dalles gigantesques étaient eux-mêmes en bons bétons agglomérés, il n'y aurait aucun écrasement à craindre, puisque par le fait du monolithisme chaque centimètre pourrait sans s'écraser supporter des centaines de kilogrammes, et qu'il n'y aurait qu'à en augmenter l'épaisseur en proportion du poids à supporter.

Mais ce danger d'écrasement se trouverait atténué dans des proportions considérables par ce fait que la forme de dalles pleines n'est qu'une supposition. Nous avons dit plus haut qu'une voûte surbaissée pouvait être conçue comme une dalle évidée par-dessous en forme de voûte, de telle sorte que les bords de cette voûte qui reposent sur les murs doivent avoir toute l'épaisseur qu'aurait dû avoir une dalle pleine pour ne pas se rompre; mais on peut, sans nuire à la solidité, donner à la surface inférieure la forme d'une voûte surbaissée, puisque s'il est vrai qu'on diminue ainsi une partie de la force de résistance à l'arrachement que présenterait une dalle pleine de béton, d'un autre côté on diminue le poids de chute dans une énorme proportion, puisqu'on enlève du poids au centre, c'est-à-dire à l'endroit même où se trouve la plus grande force de levier.

Cette diminution du poids et de la force de levier compense certainement la perte de résistance à l'arrachement qu'eût présentée une dalle de béton.

Cet évidement peut être porté à ce point, s'il s'agit d'une voûte régulière, de ne conserver qu'une épaisseur

au centre de quelques centimètres, et même par ce moyen on pourrait enlever complétement ce centre lui-même en laissant une ouverture aussi grande qu'on le voudrait sans nuire à la solidité.

Cette conception de voûtes monolithes surbaissées et considérées comme des dalles évidées, qui ne peut avoir d'analogues dans le système actuel de maçonnerie composée de menus matériaux, détruit complétement ce qu'on appelle la poussée des voûtes pour la transformer en une simple pression verticale, ce qui, on le conçoit, permet de ne donner aux pieds-droits, aux murs que l'épaisseur strictement nécessaire et de supprimer les artifices de consolidation qu'on a toujours été obligé de faire pour résister à la pression des voûtes.

La solidité de ces voûtes surbaissées peut encore être accrue dans une énorme proportion par l'introduction dans la pâte du béton et pendant la confection de la maçonnerie, conformément à ce que nous avons déjà signalé pour les barrages, de tirants en fer, de chaînes, ou plutôt de crampons de fil de fer haché et écrasé par les deux bouts; la maçonnerie de béton aggloméré acquerrait en sus de la résistance du béton lui-même toute la résistance fournie par l'introduction de ces matières tenaces.

D'un autre côté, s'il s'agissait de couvrir une salle d'une vaste étendue, au plafond de laquelle on ne voudrait pas donner la forme d'une voûte régulière, mais bien celle d'une voussure arrivant à une faible distance des pieds-droits, à une surface plane; dans ce cas, la partie en voussure suivrait la loi que nous venons d'indiquer pour les voûtes surbaissées, elle

pourrait être considérée comme un segment de dalle évidée; mais alors la partie plane deviendrait un simple plancher ordinaire en béton aggloméré, lequel, ainsi que nous l'avons vu quand nous avons parlé de la construction des maisons, est basé sur l'emploi de quelques poutrelles en fer à double T formant tirants, établies au sein même du béton dans lequel elles sont encastrées comme dans un étui de pierre.

En résumé, l'emploi du béton aggloméré, par sa dureté et par le monolithisme, permettrait d'aborder avec une incontestable supériorité tous les systèmes de toitures, de planchers et de voûtes, à partir du simple toit, du simple plancher de la plus modeste habitation pour arriver aux grandes voûtes en ogive ou à plein cintre, et même aux grandes voûtes surbaissées, ou aux voûtes combinées de voussures et de surfaces planes qu'exigent les grands monuments.

En vertu du monolithisme la dimension de ces voûtes, toitures, coupoles, dômes, voûtes surbaissées, planchers combinés, n'a pas de limites, puisqu'il suffit, pour faire face à un accroissement de dimension, d'augmenter l'épaisseur initiale.

C'est ainsi que, dans la construction des théâtres, des thermes, des monuments publics, l'on pourrait atteindre des portées jusqu'à ce jour inconnues.

Cette possibilité de construire à peu de frais des voûtes à portée inusitée donne le moyen d'aborder de nouveau l'édification de grands monuments publics, non pas en se livrant à une imitation servile des anciens travaux romains, mais en les surpassant de beaucoup en hardiesse, en élégance, en économie.

C'est ainsi que l'on peut concevoir la possibilité de bâtir des théâtres couverts qui contiendraient jusqu'à dix mille personnes et plus ; des thermes où l'on pourrait établir des piscines d'eau chaude et d'eau froide d'une vaste étendue ; des salles de réunion, des salles de concert de dimensions inusitées ; et tous ces travaux, au lieu d'être, comme aujourd'hui, en fer, en bois, en plâtre, et couverts en tuiles ou en zinc, seraient de véritables monolithes indestructibles, bravant sans abri, sans toiture, les plus rudes intempéries, et n'ayant rien à redouter ni des injures du temps ni des incendies.

Ce genre de construction, au point de vue de l'art de la peinture, présenterait une solidité que n'offrent pas les moyens actuels ; que de chefs-d'œuvre, hélas ! ont disparu pour avoir été placés sous des voûtes mal abritées par de mauvaises toitures, contre des murs salpêtrés ou sur des enduits qui se détachent toujours à la longue !

Les fresques pourraient être peintes sur le bloc même de béton sans aucun enduit, et par suite ce béton étant imperméable, l'artiste n'aurait plus à craindre de voir périr son œuvre par les infiltrations, le salpêtrage, la chute des enduits, ou par l'incendie, ainsi que naguère il est arrivé à l'École des beaux-arts pour la peinture de Delaroche ou au palais du Luxembourg dans la salle du Sénat.

Si le béton aggloméré monolithe ne se prête que difficilement à l'ornementation sur place, il n'en est pas moins destiné à jouer, au point de vue de l'art et de la décoration, ainsi que nous venons de le voir, le rôle le plus important.

Nous sommes certain que les artistes, qui trop souvent voient leur œuvre périr misérablement et prématurément, comprendront l'importance de cette affirmation.

De telle sorte qu'en dehors de l'ornementation sur place par le moulage, le béton aggloméré, par le monolithisme, apporterait une véritable révolution dans l'art de construire les planchers, les voûtes, les toitures, mais par sa propriété de recevoir la peinture il en apporterait une autre pour la transformation des décorations à l'intérieur, et même à l'extérieur, par l'usage en grand de la peinture à fresque et des stucs de couleurs variées.

A ce point de vue, les constructions monolithes en bétons agglomérés doivent amener la renaissance du grand art de la peinture à fresque, et de l'emploi en large échelle des stucs de toutes couleurs, tombés à peu près aujourd'hui en désuétude par l'extrême difficulté, par l'impossibilité, avec les constructions ordinaires, d'assurer au peintre, au poseur de stuc, des surfaces homogènes, insensibles aux intempéries, des surfaces qui ne se gercent pas, que le salpêtrage ne détache point des murs; tandis qu'avec des murs, des voûtes, des dômes, des coupoles, des planchers cintrés ou horizontaux en bétons agglomérés à l'état monolithe, ils auraient un fonds indestructible, absolument indestructible, n'absorbant ni l'humidité, ni le salpêtre, sans joints, sans enduits, sur lequel ils appliqueraient directement la peinture ou le stuc, lesquels acquerraient par ce procédé, on peut le dire, une durée pour ainsi dire éternelle.

DES THEATRES

ET

SALLES DE RÉUNION.

En ce qui concerne particulièrement la construction des salles de spectacle, l'emploi des bétons agglomérés présenterait des avantages spéciaux et nombreux, et le concours que vient d'ouvrir le gouvernement pour un projet de salle de l'Opéra aurait pu donner une opportunité toute particulière à ce que nous allons dire de ce genre d'application, si toutefois le délai accordé aux candidats n'avait été beaucoup trop court pour étudier un projet basé sur l'emploi des bétons, et pour en faire le devis et, il faut l'avouer, si ce mode nouveau de construction était aujourd'hui arrivé à la notoriété qu'il atteindra certainement plus tard.

Quoi qu'il en soit, s'il est trop tard pour proposer ce procédé pour la construction de l'Opéra, comme ce théâtre n'est pas le dernier qu'on bâtira, nous croyons devoir appeler l'attention des hommes de l'art sur ce sujet, qui, à notre avis, met complétement en relief l'importance originale de l'emploi des bétons agglomérés.

Le problème complexe que soulève la construction d'une salle de spectacle, les conditions auxquelles il doit nécessairement satisfaire sont :

La solidité et la durée.

L'incombustibilité.

La sonorité.

L'aération.

L'économie.

La solidité et la durée n'exigent pas une longue démonstration; il suffit de rappeler que la maçonnerie de bétons agglomérés est imperméable, insensible aux intempéries, et que le temps et les influences atmosphériques ne font qu'en augmenter incessamment la résistance; que l'élévation des murs d'un théâtre, reposant sur un empâtement monolithe, une immense dalle imperméable de béton formant une assise générale pour ses fondations, empêcherait tous les tassements, toutes les lézardes; que les voûtes étant à l'état monolithe, n'auraient pas de poussée, de telle sorte que les pieds-droits en béton aggloméré, au lieu d'avoir à opposer une résistance au renversement des voûtes, c'est-à-dire à l'arrachement, n'auraient à offrir qu'une simple résistance à l'écrasement; enfin que l'ensemble tout entier d'un théâtre, formant un véritable monolithe sans joints, il n'y aurait rien à craindre des tassements provenant de l'écrasement des mortiers, formant le jointoyage dans la maçonnerie ordinaire, ni de leur désagrégation par les salpêtres, les gelées ou la simple humidité; toutes ces causes de solidité et de durée sont si évidentes, qu'il n'y a pas à insister davantage sur ce point.

Quant à l'incombustibilité, elle proviendrait de ce que, dans la construction tout entière, il n'y aurait pas une parcelle de bois, non-seulement dans les voûtes de

la scène et de la salle, mais encore dans les planchers des foyers, des corridors de dégagement, des bâtiments accessoires, qui tous seraient construits en bétons agglomérés, pas plus qu'il n'y en aurait dans les toitures, qui, elles-mêmes, seraient des voûtes de bétons agglomérés.

Nos théâtres actuels, presque tous construits en menus matériaux et en plâtras, ont le plus souvent des charpentes et des toitures en bois qui, en cas d'incendie, sont soumis à une destruction rapide et complète, tandis que, s'ils étaient construits et voûtés en bétons agglomérés, ils se raprocheraient davantage des anciennes constructions romaines, où n'entraient aucuns matériaux combustibles.

Ce genre de construction ne pourrait trouver un obstacle que dans la vaste portée qu'il faudrait donner aux voûtes, portée telle qu'il serait impossible de la réaliser par les moyens ordinaires de construction, qui tous, par l'emploi des menus matériaux, donnent une poussée si grande que nuls pieds-droits, nuls contre-forts ne pourraient les vaincre, difficulté d'autant plus grande que ces voûtes à très-grande portée doivent être très-surbaissées; difficulté si grande que ni dans l'antiquité, ni dans les temps modernes on ne trouve de construction de ce genre.

Mais l'emploi des bétons agglomérés à la construction des théâtres ne pourrait être adopté qu'à la condition non-seulement de pouvoir réaliser par leur moyen les portées les plus grandes des théâtres actuels, c'est-à-dire vingt à vingt-cinq mètres; mais encore, comme ces théâtres ne contiennent qu'un nombre trop res-

treint de spectateurs, il faudrait au besoin pouvoir étendre cette portée, déjà si grande, à trente ou trente-cinq mètres de largeur, et jusqu'à quarante à cinquante mètres de longueur, de manière à contenir jusqu'à huit ou dix mille spectateurs.

Si, au moyen de l'emploi des bétons agglomérés, il n'était pas possible d'atteindre, avec la plus complète sécurité, des portées aussi considérables, il serait oiseux d'en proposer l'emploi; mais si des voûtes de ce genre sont possibles, alors, au point de vue de l'incombustibilité et de la sonorité, la construction monolithe du béton aggloméré doit jouer tôt ou tard un rôle important dans la construction des théâtres.

Deux grandes voûtes principales seraient nécessaires dans un théâtre de béton aggloméré : la voûte de la scène, la voûte de la salle. La voûte de la scène ayant moins de portée que celle de la salle, nous ne nous occuperons que de celle de la salle; et si cette dernière peut être ainsi construite, l'autre le sera également, parce que, qui peut le plus peut le moins.

Il s'agirait donc de construire des voûtes de salle d'une surface plus étendue que celle des plus grands théâtres existants, c'est-à-dire des voûtes ayant une portée de vingt-cinq, trente à quarante mètres.

Mais des voûtes de trente à quarante mètres de portée, surbaissées au dixième ou au plus au huitième de flèche, ainsi que l'exigent les lois de l'acoustique, auraient une poussée si formidable, si on essayait de les construire en menus matériaux et par les procédés ordinaires, que nuls pieds-droits, nuls contre-forts, n'auraient la puissance de les vaincre.

Des portées de ce genre ne sont concevables que pour des voûtes à l'état monolithe, et composées d'une matière homogène assez dure pour présenter le maximum de résistance possible à l'écrasement et à l'arrachement.

Or, de bons bétons agglomérés, ayant pour base les meilleures chaux, les ciments les plus énergiques et les sables les plus convenables, parfaitement dosés, triturés, agglomérés, donnant une maçonnerie non-seulement aussi dure que la meilleure pierre naturelle, mais la donnant surtout à l'état monolithique, quelle qu'en soit l'étendue ou la masse, on conçoit qu'une maçonnerie de ce genre, portant la même résistance également sur tous les points, n'ayant aucuns joints qui pussent s'écraser ou rompre l'unité de résistance, la solidarité et l'harmonie d'efforts, une telle voûte pourrait seule permettre des hardiesses dont les procédés ordinaires ne laissent pas même concevoir la pensée.

Supposons donc, pour établir une comparaison avec ce qui existe, qu'il s'agisse de construire un théâtre de la grandeur de celui de la Scâla à Milan, de Saint-Charles à Naples, de l'Opéra à Paris; dans ce cas, la voûte de la salle devra avoir environ une portée de vingt-cinq mètres, et cette voûte, afin de donner le plus de sonorité possible, devra avoir une flèche au dixième ou au plus au huitième.

Ainsi que nous l'avons déjà dit précédemment, toute voûte surbaissée, à l'état monolithe, peut être considérée comme ayant été primitivement un cube monolithe, que l'on aurait ensuite évidé par-dessous en forme de voûte.

Connaissant la résistance possible des bétons agglo-

mérés à l'écrasement et à l'arrachement; sachant qu'à l'écrasement les bétons résistent à plusieurs centaines de kilogrammes, et à dix, quinze, vingt kilos à l'arrachement, un simple calcul des forces établirait l'épaisseur qu'il s'agirait de donner à ce cube monolithe à évider ensuite en forme de voûte.

On peut admettre sans crainte que ce bloc, pour une portée de vingt-cinq mètres, devrait avoir une épaisseur de trois mètres cinquante, épaisseur de laquelle il faudrait déduire toute la partie évidée en forme de voûte, c'est-à-dire trois mètres sur trois mètres cinquante, la voûte monolithe de béton aggloméré ne devant avoir que cinquante centimètres d'épaisseur à la clef.

Un bloc ainsi évidé, avec la superficie que nous avons donnée, présentant un cube total de maçonnerie entre les pieds-droits d'environ mille mètres cubes, à raison de deux mille quatre cents kilos par mètre cube de poids spécique, donnerait un poids total de deux millions cinq cent mille kilos environ.

Cette voûte, ce monolithe, cette dalle évidée pardessous, mais tout à fait plane par-dessus, ainsi qu'il serait d'une dalle, d'un cube évidé après coup, reposerait par ses bords sur les pieds-droits, c'est-à-dire sur le mur de pourtour, lequel, n'ayant à opposer aucune résistance à la poussée, mais bien une simple résistance à l'écrasement, puisqu'il n'aurait à supporter que le seul poids de la voûte, qui, par son état monolithe, n'aurait pas de poussée, n'aurait pas besoin d'avoir une épaisseur plus grande que celle d'un mur ordinaire.

En effet, ce mur de pourtour, devant avoir soixante-

quinze mètres de longueur, si on lui donne un mètre d'épaisseur, présentera une superficie totale de sept cent cinquante mille centimètres sur lesquels aurait à se répartir la pesanteur totale de la voûte, soit environ trois kilos cinq cents grammes par centimètre carré; or, un poids de trois kilos cinq cents grammes pour des bétons agglomérés, qui peuvent en supporter des centaines, ainsi qu'il est prouvé par les chaussées, devient un poids tout à fait insignifiant, car ce ne sont pas trois kilos cinq cents grammes par centimètre carré qui pourraient les compromettre, mais bien un poids cent fois plus grand peut-être.

Nous avons admis et nous admettons qu'une voûte monolithe en bétons agglomérés, aussi surbaissée qu'on le voudra, trouve dans le monolithisme et dans sa résistance à l'écrasement et à l'arrachement la force nécessaire pour être absolument rigide, de telle sorte qu'aucune poussée ne pouvant se produire, tout l'effort d'une voûte de ce genre sur ses pieds-droits se trouve transformé en simple pesanteur, n'exigeant que de la résistance à l'écrasement; mais en outre de cette force de résistance propre à ce genre de voûtes, d'autres causes très-importantes de sécurité et de résistance se présenteraient.

En effet, le mur de pourtour formant les pieds-droits de la voûte sont eux-mêmes à l'état monolithe, de telle sorte que, si la voûte donnait une poussée, il faudrait que cette poussée fût assez grande pour arracher le mur de pourtour du faîte à la base.

Or, un pareil arrachement ne pourrait se produire que par une poussée très-considérable, puisque, si l'on

admet qu'un mur de ce genre ait trente mètres de hauteur, ce qui est bien peu, comme une rupture ne pourrait se produire qu'en arrachant le mur sur deux points à la fois, la poussée aurait donc à vaincre la résistance à l'arrachement de soixante mètres superficiels de maçonnerie de béton aggloméré, qui, ayant une résistance de dix kilos au minimum par centimètre carré, offrirait une résistance totale de six millions de kilos.

Cette résistance, jointe à celle que présenterait la maçonnerie de la voûte elle-même, et qu'on ne peut pas évaluer à moins de cinq à six millions de kilos, donnerait déjà une résistance de douze millions de kilos à opposer à la poussée possible d'une voûte qui pourtant, nous venons de le voir, n'en aurait aucune.

Mais ce n'est pas encore assez : l'emploi des bétons agglomérés permet, ainsi que nous l'avons déjà vu pour les barrages et les aqueducs, d'utiliser des moyens artificiels de consolidation, dont l'emploi du béton seul peut permettre l'usage efficace ; ainsi, sans diminuer en rien la résistance propre de la maçonnerie monolithe des bétons agglomérés à l'arrachement, il est facile de concevoir que dans les rebords de la voûte, ou même dans toute sa superficie et à toutes ses hauteurs, de même que dans les pieds-droits plus ou moins circulaires, on pourrait introduire des chaînes de fer d'un poids considérable, et même, s'il le fallait, au besoin, des chaînes de navire, lesquelles, encastrées anneau par anneau dans une pâte de pierre dure qui en prendrait l'empreinte, acquerraient un maximum de résistance inconnu, quand les chaînes sont à vide ; ces chaînes, on le conçoit, en cas de poussée, s'opposeraient à l'écartement ; mais la poussée n'ayant pas lieu, la force de ces

chaînes, s'ajoutant aux douze millions de kilos de résistance assurés pour le béton seul, donnerait un total de résistance auquel il est impossible d'assigner une limite.

Fallût-il cent millions de kilos qu'on les obtiendrait en augmentant le nombre et la force des chaînes.

L'emploi des chaînes est de beaucoup préférable à celui des tirants ordinaires en fer, parce que chaque anneau encastré dans le béton multiplie à l'infini les points de prise et d'appui, et parce que surtout elles ne sont pas susceptibles, comme les barres de fer, de s'allonger par la traction, et de s'étirer ou se contracter au contact des variations atmosphériques, de telle sorte qu'à épaisseur de fer égale, on peut avancer que la résistance sera infiniment plus grande avec des chaînes qu'avec des armatures en fer.

La résistance déjà si excessive des chaînes pourrait encore être doublée et même décuplée si, dans la masse du béton, on introduisait, pendant sa confection, du fil de fer haché: des matières textiles, par ce moyen on arriverait presque à donner à une voûte de béton la résistance que pourrait présenter la fonte à épaisseur égale.

Donc, le poids spécifique étant insignifiant relativement à la force des pieds-droits, qui, en bétons agglomérés monolithes, résisteraient à des charges cent fois plus considérables, la rupture par poussée étant impossible, soit par la force du monolithisme, par la résistance propre du béton de la voûte et des pieds-droits, soit par le fait de l'introduction de chaînes et de fil de fer haché, il ressort clairement que l'on pourrait atteindre sans danger la portée prodigieuse que nous avons osé signaler, et par conséquent qu'il serait possible, ainsi que nous

le disions, de faire contenir à un théâtre ainsi construit un nombre de spectateurs double de celui que peuvent contenir les plus grands théâtres actuels.

Si on peut ainsi faire la grande voûte de la salle, à plus forte raison pourra-t-on faire celle de la scène, dont la portée serait loin d'atteindre vingt mètres.

Mais, ainsi que nous le savons déjà, le béton aggloméré est insensible aux intempéries, et par conséquent l'extrados de ces voûtes pourrait être exposé à l'air sans autre abri, et servir de toiture, ce qui donnerait le triple avantage d'augmenter la solidité des théâtres, qui ne souffriraient plus de l'insuffisance des toitures ordinaires, de débarrasser l'architecte des formes encombrantes, ridicules, anti-artistiques, qu'il est obligé de subir avec les toitures ordinaires, et enfin de compléter l'incombustibilité des théâtres; car s'il n'entre pas de bois dans les grandes voûtes, à plus forte raison n'en entrera-t-il pas dans les voûtes transversales des foyers et des corridors.

Mais non-seulement l'extrados des grandes voûtes de théâtre pourrait servir de toiture, mais encore il ouvrirait à ce genre de construction un avantage tout à fait nouveau et sans analogie jusqu'à ce jour, c'est-à-dire que le dessus d'un théâtre pourrait devenir une véritable place publique, un jardin, le grand foyer en plein vent pour ceux qui aiment le grand air.

Rien n'empêche, en effet, de concevoir que toute la superficie d'un théâtre, c'est-à-dire plus de deux mille mètres superficiels, pourraient devenir de véritables promenades au grand air, avec des jardins accessibles à la population même pendant le jour.

C'est ainsi que les jardins suspendus de Babylone passeraient de la fable dans la réalité; c'est ainsi qu'à très-peu de frais l'on pourrait réaliser des merveilles architecturales qui laisseraient bien loin les plus célèbres constructions de l'antiquité, puisqu'au lieu de transporter les monolithes on les ferait sur place et sans limites de cube.

Nous ne pouvons donner suite en ce moment à ces vues, qui paraîtraient trop romanesques; il faut laisser le temps amener lui-même ce genre d'application, qui peut tout aussi bien être utilisé, ainsi que nous l'avons déjà dit, pour les maisons particulières.

Restons donc sur le domaine de la réalité plus apparente.

La plus grande solidité et l'incombustibilité étant démontrées, les mêmes avantages existeraient pour la sonorité, qui trouverait dans le monolithisme, dans la forme des voûtes de béton et dans la nature même des bétons agglomérés, des conditions complétement inconnues aujourd'hui, telles que, dans une salle qui contiendrait huit ou dix mille spectateurs, un chanteur se ferait plus facilement entendre que dans la meilleure de nos salles actuelles.

Les salles que l'on construit aujourd'hui sont bâties en menus matériaux, lesquels sont reliés entre eux par du mortier, ce qui empêche toute homogénéité et toute transmission de vibrations, parce que la densité, la dureté des mortiers est tout à fait différente de celle des pierres ou des briques; de plus, par l'incurie des ouvriers, les maçonneries ordinaires sont toujours remplies de parties vides, qui interrompent ainsi la vibration;

Tandis qu'avec les bétons agglomérés, la masse tout entière, du faîte à la base, dans sa longueur comme dans sa largeur, forme un tout monolithe, un seul bloc, sans joints, sans vides, par conséquent d'une homogénéité absolue. Une maçonnerie de ce genre, bien évidemment, offre sur les maçonneries ordinaires une puissance de vibration tout à fait nouvelle et inconnue.

D'un autre côté, par les procédés ordinaires, et dans l'impossibilité de pouvoir faire des voûtes surbaissées de grande dimension, les constructeurs sont réduits à faire des apparences de voûtes, en charpente, en plâtre, en toiles, qui absorbent le son au lieu de le réfléchir, comme le ferait une voûte monolithe en béton, surbaissée jusqu'au dixième de flèche.

Cette sonorité serait encore accrue par le fait que la charpente de la scène serait aussi remplacée par une voûte de béton.

Ces affirmations sont trop conformes aux lois de l'acoustique et à ce que prouve l'expérience pour pouvoir être contestées, et nous ne craignons pas de dire que si, par les constructions intérieures des loges et par l'ornementation, qui, dans les salles actuelles, étouffent la voix, on ne parvenait pas à réduire cette sonorité, elle serait si excessive qu'elle deviendrait un sérieux obstacle. Mais ce danger n'est pas à redouter : au contraire, cet excès de sonorité permettrait au constructeur de donner plus de place pour augmenter le nombre des spectateurs et un plus grand développement à l'ornementation de la salle et des loges.

Quant à l'aération, si difficile, si défectueuse aujourd'hui, elle trouverait dans l'emploi des bétons agglomérés

des moyens aussi nouveaux que puissants pour donner une ventilation générale et complète,

Aujourd'hui, en effet, l'aération, la ventilation, le chauffage s'opèrent par un très-petit nombre de cheminées d'appel, avec des gaines de chaleur qui très-difficilement communiquent avec l'intérieur des loges et de la salle par un nombre insuffisant de bouches.

Avec les maçonneries de béton, on agirait de tout autre manière : en effet, tous les murs de béton, notamment les murs de pourtour de la salle et de la scène, pourraient être perforés, du faîte à la base, d'un nombre illimité de vides en forme de tubes que l'on obtiendrait par un simple moulage pendant la confection. Ces tubes, qui pourraient exister par centaines, par milliers, dans tous les murs de théâtres, sans pour cela nuire en aucune façon à la solidité générale de la construction, serviraient de cheminées d'appel communiquant à toutes les loges, à tous les points de la salle, à tous les recoins de salles ou de corridors, aspireraient l'air vicié pour le verser dans l'atmosphère. Des centaines de cheminées d'appel pourraient ainsi purifier l'air de la salle. Des centaines d'autres pourraient amener soit de la chaleur en hiver, soit de l'air frais en été, et de manière à les faire parvenir sur tous les points.

Ceci est évident et n'a pas besoin de plus longues démonstrations, il est évident qu'une ventilation opérée par des milliers de tubes sera plus parfaite et plus énergique que par les rares cheminées actuellement usitées.

Mais, ce qui est peut-être plus original encore, c'est que, avec les bétons agglomérés, ces milliers de tubes,

loin d'entraîner de la dépense, deviendraient une économie.

Car, plus il y aurait de ces tubes et plus il y aurait de vides, moins il faudrait de béton; tandis qu'aujourd'hui on sait ce que coûte le moindre système de ventilation, même le plus imparfait.

Mais l'économie ne proviendrait pas de ce fait seulement, elle proviendrait bien plus encore du faible prix de revient de la maçonnerie de bétons agglomérés, de la suppression des toitures et des charpentes, de la suppression de tous artifices de consolidation; en un mot, un théâtre de béton aggloméré incombustible, plus grand, plus durable, plus sonore, mieux ventilé, coûterait beaucoup moins cher que les salles de spectacle actuelles.

Un seul point peut être douteux : la construction des théâtres n'est point seulement une question de voûtes, de murs, de sonorité, de ventilation, elle est aussi une question d'art.

Les façades doivent être de véritables monuments, l'intérieur doit complétement satisfaire le goût, et les bétons moulés sur place à l'état monolithe, s'ils donnent la solidité, la puissance, la hardiesse, la durée, ne donnent pas la forme artistique.

Est-ce un vice? est-ce une heureuse qualité?

Peut-être est-ce une qualité, car les moyens ordinaires de décoration sont déjà bien vulgaires, bien répétés, bien usés, et il est désormais difficile, avec la pierre de taille ou du plâtre, de faire du nouveau, de l'original.

Peut-être avec les bétons agglomérés trouverait-on

des moyens nouveaux d'ornementation : ainsi, les piliers, les arceaux de bétons pourraient être recouverts de plaques de marbre, de stucs variés, lesquels, reposant sur une maçonnerie homogène, immuable, sans retraits ni dilatation, y trouveraient une assiette solide que ne saurait offrir la maçonnerie ordinaire.

Une voûte, un plafond, un mur de bétons agglomérés bien faits n'auraient qu'à recevoir un certain nombre de couches d'eau de chaux pour acquérir la netteté de surface nécessaire ; et ce vernis de chaux, faisant corps avec le béton, serait à jamais inaltérable, de telle sorte que toutes les peintures qu'on y apposerait traverseraient ensuite des années innombrables sans altération ;

Tandis qu'avec les matériaux actuels, la perméabilité, la dilatation, les infiltrations, le salpêtrage des pierres, la désagrégation des mortiers obligent à ne faire de peinture que sur des murs couverts d'enduits : or, à la longue, ces enduits se fendent, se détachent, et c'est ainsi que s'altèrent les chefs-d'œuvre de l'art et qu'ils disparaissent.

APPLICATIONS DIVERSES.

Tout ce qui vient d'être dit sur la construction des salles de spectacle n'est pas moins applicable à la construction des thermes, qui pourraient être édifiés sans y introduire aucuns matériaux altérables, et pour lesquels la vaste portée possible des voûtes permettrait non pas d'égaler les Romains, mais de les surpasser de beaucoup.

Qui ne conçoit qu'avec les moyens que la science a conquis, il ne soit infiniment facile de faire de vastes piscines d'eau chaude et d'eau froide, qui permettraient même pendant l'hiver de conserver le système de bains avec natation, tel qu'il existe en été dans les grands bateaux des rivières? N'est-il pas évident que la salubrité publique aurait tout à y gagner?

A plus forte raison, ce système de construction serait-il applicable à toute espèce de monuments, mairies, écoles, salles de réunion et de concerts, qui n'exigeraient que des voûtes bien plus restreintes, et qui n'offriraient aucune difficulté de construction.

De même aussi que pour les salles de spectacle, les murs d'une église, d'un hôpital, d'une caserne ou de tout autre monument public, pourraient être perforés, du haut en bas, d'un nombre considérable de tubes réservés dans le béton aggloméré, tubes dont l'existence, soit dit en passant, ne nuirait en rien à la solidité; ces tubes présenteraient comme une espèce de jeu d'orgues, dont les tuyaux communiqueraient les uns, avec des calorifères pour répandre l'air chaud sur tous les points

et à toutes les hauteurs du bâtiment à échauffer, et dont les autres seraient de simples gaînes d'appel enlevant l'air vicié pour le verser dans l'atmosphère, ou bien encore iraient prendre l'air pur et frais au dehors pour le répandre dans les salles.

N'est-il pas évident qu'il n'y a pas de comparaison à établir entre un système de ventilation de ce genre, qui ne coûterait pas une obole, et qui s'opérerait par des milliers de tubes, de bouches de chaleur et d'air frais, et de cheminées d'appel, avec les systèmes actuels si incomplets, si imparfaits, et pourtant si coûteux, si encombrants et si faciles à endommager ?

Tout ce qui vient d'être dit, et qui n'est pas contestable, démontre que l'emploi des bétons agglomérés doit jouer le rôle le plus important dans l'avenir pour la construction des grands monuments publics.

Après avoir indiqué tant d'applications importantes, après avoir donné la solution de problèmes d'architecture si audacieux, il peut paraître superficiel de parler d'emplois de moins haute importance pour l'art de construire, tels que construction de perrons monolithes, de tours très-élevées, etc., et pourtant, en ce qui concerne les perrons, il est certain que par les procédés actuels les eaux pluviales passent entre les marches, imbibent les maçonneries, qui se ramollissent, se tassent, se soulèvent par les gelées, brisant ou déplaçant, en se soulevant, les marches qu'elles supportent, et qui à la longue, comme cela a eu lieu à Versailles, amènent la destruction de travaux qui ont coûté des sommes immenses.

Des perrons monolithes en bétons agglomérés for-

mant avec la voûte qui les supporte un seul tout, un bloc, une seule pierre, ne laisseraient jamais passer une seule goutte d'eau, la conservation en serait éternelle : les marches elles-mêmes, faites en béton de chaussées, seraient inusables.

Quant à la possibilité d'élever des tours de hauteur inusitée, de plusieurs centaines de mètres au besoin, comme jusqu'à présent les tours n'ont été que des monuments de luxe et d'ornement, il pourrait paraître sans utilité d'en parler à propos des bétons agglomérés. Mais l'avenir, nous le croyons, réserve à des constructions de ce genre une destinée plus importante ; ainsi déjà l'on peut entrevoir le cas où l'on se trouvera lorsqu'on fera l'application de l'éclairage électrique ; il est probable qu'alors l'étincelle devra être placée sur des tours très-élevées, afin d'éclairer de plus grands espaces et de ne pas fatiguer la vue.

D'un autre côté, l'idée présentée par M. Jobard, de Bruxelles, de construire des cheminées d'appel colossales pour enlever les fumées et les émanations des grandes villes, peut recevoir son exécution ; or, comme, dans ce cas, le mode actuel de construction où l'on emploie la pierre ou la brique ne peut permettre des élévations très-considérables, il faudra bien avoir recours aux bétons agglomérés ; car, si l'on emploie le moellon ou la brique, les joints s'écraseront, il y aura des tassements, et par suite une prompte destruction ; si l'on emploie la pierre de taille, il y aura toujours quelque pierre qui s'écrasera, et d'ailleurs le prix serait tellement élevé que ce travail serait impraticable.

La supériorité du béton aggloméré, en tant que résis-

tance et solidité, sur l'emploi de la maçonnerie de pierres ou de briques, est facile à démontrer.

En effet, si l'on suppose qu'il s'agisse d'élever une tour, une cheminée générale d'appel, un viaduc, en un mot un bâtiment quelconque, de très-grande hauteur, fût-elle de plusieurs centaines de mètres, en nous réduisant même à une résistance minimum de cent kilos par centimètre carré, nous reconnaîtrons, ce que nous avons déjà fait plusieurs fois, qu'une maçonnerie de béton aggloméré pourrait supporter sans atteinte un poids de cent kilos par chaque centimètre carré, de telle sorte qu'un mètre cube de béton pesant deux mille quatre cents kilos, chaque section d'un centimètre carré pouvant supporter sans s'écraser un poids minimum de cent kilos, ce poids équivaudrait à une colonne de plus de quatre cents mètres de hauteur de béton aggloméré, puisque chaque mètre de hauteur d'une colonne d'un centimètre de ce béton pèse deux cent quarante grammes.

D'après ce calcul, on pourrait donc donner à un mur de béton aggloméré, en supposant que ce mur eût à la base une épaisseur égale à celle qu'il aurait au sommet, condition qui ne se présente jamais, une hauteur de plus de quatre cents mètres, d'autant plus que cette hauteur prodigieuse n'est pas un maximum, tant s'en faut, car en employant du béton de chaussées, au lieu de résister à cent kilos, ce béton résisterait à deux, à trois cents kilos et au delà, ce qui, on le conçoit, permettrait des hauteurs doubles et triples.

D'où il résulte que l'on pourrait, sans danger d'écrasement, élever des tours de plusieurs centaines de mètres de hauteur avec d'autant plus de sécurité,

qu'il est d'usage de donner à la base une épaisseur plus grande qu'au sommet, de telle sorte qu'en donnant au pied des parois d'une tour ou d'une cheminée une épaisseur double, triple, quadruple de celle du sommet, la pesanteur se répartissant sur une surface double, triple, quadruple ou au delà, l'élévation pourrait elle-même s'accroître du double, du triple, du quadruple, jusqu'à étonner l'imagination la plus portée aux extrêmes hardiesses : aussi ne voulons-nous pas articuler le nombre de mètres que nous croyons que l'on pourrait atteindre sans danger, nous craindrions d'être taxé d'exagération.

DES REMPARTS

ET DES TRAVAUX DE DÉFENSE

DES PLACES DE GUERRE.

DES REMPARTS

ET DES TRAVAUX DE DÉFENSE

DES PLACES DE GUERRE.

Une des applications les plus importantes qui puissent être faites de nos procédés de préparation et d'agglomération des bétons à base de chaux, c'est la construction de tous travaux de défense des places de guerre, que ces constructions soient exposées à l'air et à toutes les intempéries au-dessus du niveau du sol, ou bien qu'elles soient soumises au contact de l'eau dans les fossés, écluses, barrages et canaux.

Les parties exposées au contact de l'eau doivent être exclusivement bâties, dans toute leur épaisseur, en béton dur à base de sable. Mais les parties élevées au-dessus du niveau du sol, et destinées à subir l'action des projectiles et celle provenant des variations atmosphériques, devraient être construites ainsi qu'il suit :

Le massif intérieur devrait être construit à l'état monolithe en un béton aggloméré ayant pour base la terre argileuse aux lieu et place du sable ; un béton de ce genre, moins dur, moins susceptible de se briser par le choc ou les explosions, amortirait l'effet des projectiles beaucoup mieux que le béton à base de sable, qui pourrait plus facilement sauter en éclats sous l'action du projectile.

Toutefois ce massif de béton nouveau et spécial devrait être revêtu d'un parement de béton dur à base de

terre argileuse : le tout formant monolithe d'une manière absolue, sans aucune solution de continuité ni d'homogénéité.

Le succès qui a accompagné les travaux que nous avons déjà accomplis ne permet pas de douter que l'emploi des bétons agglomérés ne présente les avantages les plus importants sur tous les autres moyens de construction de pierres ou de briques, au triple point de vue :

1° De la résistance à toutes les causes de destruction quelconques ;

2° De l'économie dans le prix de revient ;

3° De la plus facile mise en œuvre.

C'est ce qui, nous l'espérons, ne sera pas difficile à démontrer :

PREMIÈRE PROPOSITION.

Des remparts et autres travaux de défense des places de guerre, construits intégralement en bétons agglomérés à base de chaux, présenteraient plus de résistance à toutes les causes quelconques de destruction que toutes les constructions analogues de pierres et de briques actuellement employées.

Les causes de destruction des travaux de défense des places de guerre sont de deux sortes :

Elles proviennent ou de l'action spontanée dans le temps de tous les accidents atmosphériques, ou de l'action des projectiles et des autres moyens d'attaque en cas de guerre.

La destruction des maçonneries de pierres et de bri-

ques s'opère par l'action successive de l'humidité prolongée des pluies et des gelées.

Tantôt ce sont les pierres et les briques elles-mêmes qui, de mauvaise qualité, s'imprègnent d'eau ou d'humidité, se ramollissent et se désagrègent ensuite sous le coup de la gelée : dans ce cas la destruction est rapide.

D'autres fois et le plus souvent, bien que les matériaux soient de bonne qualité, la maçonnerie est compromise à la longue, parce que, composée de fragments très-multipliés de pierres et de briques, ce sont les joints de mortier qui les relient qui s'altèrent au contact des intempéries.

En vain les jointoyages ont été faits avec le plus grand soin : tôt ou tard, soit par absorption de l'eau du sol, soit par l'action de l'eau à l'extérieur, soit par des infiltrations provenant de l'intérieur, les joints se ramollissent à l'humidité et se désagrègent par les gelées, ce qui compromet finalement la durée des maçonneries.

Sous ce rapport, les constructions en bétons agglomérés offriraient une grande supériorité de résistance aux atteintes atmosphériques.

En effet, les constructions de bétons agglomérés, formant d'un côté, dans leur ensemble, tant développé soit-il, un tout monolithe sans joints et sans fissures, et de l'autre, étant imperméables et inaccessibles à l'action de l'eau et des gelées, il en résulte que, l'eau ne pouvant entrer ni par les surfaces internes ou externes, ni par la base, lesquelles sont imperméables, ni par des joints de mortier qui n'existent pas, l'action de la gelée même la plus rude ne peut exercer et n'exercerait aucune espèce de détérioration.

Quant à la résistance à l'action des projectiles et autres moyens d'attaque, la supériorité des constructions de bétons agglomérés est bien plus frappante encore.

Dans les cas les plus ordinaires, les remparts et autres travaux de défense consistent en un mur de terre ou de graviers recouvert d'un parement de maçonnerie en pierres ou en briques, d'une épaisseur assez grande pour offrir une certaine résistance à l'action des projectiles.

Or, quelle que soit la bonté de la maçonnerie de ces parements, quels qu'aient été les soins ayant présidé à la construction, quelle que soit même leur épaisseur, il est assez connu que les pierres les plus dures aussi bien que les briques, dès qu'elles peuvent être battues en brèche, n'offrent pas une longue résistance, ne tardent pas à s'écrouler, les fragments de pierres et de briques facilitant ensuite l'escalade.

Des remparts monolithes de bétons agglomérés offriraient une résistance bien plus efficace.

Ces murs, en effet, composés d'une construction homogène et monolithe de béton aggloméré dans toute leur épaisseur et dans toute leur étendue, ayant une aussi grande dureté à l'intérieur qu'à la surface, ces remparts présenteraient aux projectiles une masse pour ainsi dire indestructible.

C'est en vain que les assiégeants épuiseraient leurs moyens d'attaque, les murs de béton ne s'écrouleraient pas ; car, lorsque le boulet aurait tracé même à une grande profondeur la ligne de brèche, les surfaces de la maçonnerie, faisant corps avec l'intérieur, au lieu de s'écrouler, comme il arrive des parements ordinaires de pierres et de briques, qui ne sont point reliés par der-

rière avec le remplissage des remparts, resteraient pour ainsi dire suspendues; car, faisant partie de la masse même de la maçonnerie de béton, elles ne pourraient s'en détacher et s'écrouler.

Ces remparts resteraient debout alors même que les projectiles, ce qui est peu probable, parviendraient à les percer à jour; dans ce cas la partie supérieure des murs pourrait, comme un pont, demeurer suspendue même avec des portées immenses.

On conçoit donc que, pour ouvrir une brèche dans des murs monolithes de béton aggloméré, il faudrait les pulvériser intégralement, tout autre moyen ordinaire étant insuffisant : or, cette pulvérisation n'est pas praticable.

La force de la résistance à la sape et à la mine ne serait pas moins efficace; car, indépendamment de la difficulté qu'il y aurait à opérer les excavations dans un tout monolithe, où chaque coup de pic n'enlèverait qu'une parcelle insaisissable, on conçoit que l'explosion de la poudre, agissant sur une masse monolithe gigantesque et homogène, trouverait un obstacle incomparablement plus puissant que celui que présentent les maçonneries de pierres et de briques, qu'il est si facile de saper quand on est parvenu à extraire les premières pierres, et qui s'écroulent si facilement quand on a pu réussir à en ébranler la base.

Il en serait de même de l'action des bombes, qui, tombant sur des voûtes monolithes ayant une assiette équilibrée et homogène, rencontreraient une résistance bien plus grande que celle que peuvent offrir les voûtes de pierres ou de briques.

Indépendamment de la puissance supérieure de résistance que les constructions en bétons agglomérés pourraient offrir à toutes les causes quelconques de destruction, elles présentent à l'art de la guerre d'autres avantages spéciaux que l'on ne rencontre pas dans les autres genres de maçonnerie.

C'est ainsi que, par le monolithisme, c'est-à-dire l'absence de joints, et par l'imperméabilité, elles donnent des moyens d'édifier des logements, pour les hommes et les choses, à l'abri de toute infiltration et même de l'humidité, ce qui permettrait de conserver intacts, bien plus longtemps que par les procédés ordinaires, les armes, la poudre, les aliments et surtout le blé, qui serait conservé dans des silos réservés dans les massifs de maçonnerie de béton, ce qui assurerait pour les hommes un état sanitaire bien supérieur à celui qu'ils trouvent aujourd'hui dans les remparts existants.

Étant admis, ce qui ne peut être douteux aujourd'hui, que les bétons agglomérés à base de chaux offrent la dureté de la bonne pierre et résistent d'une manière complète, absolue, aux intempéries, à l'eau comme à la gelée, il n'est pas possible de contester que le monolithisme et l'homogénéité de la masse donnent bien tous les résultats que nous venons d'énumérer.

DEUXIÈME PROPOSITION.

Des remparts construits en béton aggloméré à base de chaux coûteraient moins cher que s'ils étaient construits en pierres ou en briques.

Cela est facile à démontrer.

Les matériaux qui entrent dans la confection du

béton se trouvent a peu près en tous lieux et à pied-d'œuvre. Ainsi, s'il s'agit de remparts, les terres et le sable provenant des fouilles des fossés, au lieu d'être une cause d'encombrement, seraient utilisés; on économiserait donc, par ce moyen, soit le transport des pierres, soit la façon, la cuisson et le transport des briques.

D'un autre côté, ce mode de construction ne demandant que quelque surveillance, n'exige que de la force de la part des ouvriers et non pas de l'adresse, ou un savoir-faire qui implique un long apprentissage.

En un mot, la main-d'œuvre, au lieu d'être fournie par des maçons, par des ouvriers d'art, toujours rares, toujours chèrement payés, peut être fournie tout aussi bien par de simples manouvriers, par les soldats eux-mêmes, qui, on le conçoit, n'exigeraient que des salaires beaucoup plus réduits.

Il n'est pas besoin d'insister sur cette cause d'économie immense, elle est évidente.

Une grande économie pourrait encore provenir de la résistance plus grande qu'offriraient des constructions monolithes et homogènes, ce qui, dans des cas nombreux, permettrait de réduire les cubes des remparts et autres travaux de défense.

De ce qui précède, il résulte que la plus grande économie ne peut pas plus être contestée que la plus grande résistance.

TROISIÈME PROPOSITION.

La construction de remparts en bétons agglomérés à base de chaux serait beaucoup plus facile et plus prompte à opérer que celle de remparts en pierres ou en briques.

Quelles que soient les conditions dans lesquelles on construise les travaux de défense d'une ville ou d'une place de guerre, ces travaux représentent toujours un cube considérable de maçonnerie, et qui doit pourtant être élevé avec la plus grande célérité, surtout si les fortifications qu'il s'agit de bâtir sont édifiées en vue d'une guerre prochaine ou dans l'attente d'un investissement de la place qu'il s'agit de fortifier.

Or, jusqu'à ce jour, les travaux de défense des places de guerre ont été bâtis ou en briques ou en pierres.

S'ils sont construits en briques, on conçoit que ces briques, employées par centaines de millions, doivent être confectionnées à l'avance ; car il faut beaucoup de temps pour façonner, mouler et cuire : la présence d'hommes spéciaux est aussi nécessaire, et le plus souvent la confection de ces briques se fait à grande distance, ce qui devient un grave danger, quand, dans une guerre, l'ennemi peut apparaître d'un moment à l'autre.

Non-seulement la maçonnerie de briques est coûteuse, mais, ce qui est plus grave, elle ne peut être exécutée qu'avec des délais prolongés, soit pour la confection et le transport des briques, soit même pour leur emploi, par suite de leur petit volume, qui exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre pour arriver à bâtir un cubage aussi important que celui de la fortification d'une place de guerre.

S'il s'agit de la pierre, la longueur des préparatifs est plus grande encore ; car l'extraction de la pierre, à supposer qu'on en trouve de bonne qualité dans le voisinage, exige le concours d'ouvriers spéciaux, dont le nombre n'est pas toujours en rapport avec les besoins.

Après l'extraction, le transport s'opère lentement, difficilement, avec de grands dangers, surtout si l'ennemi est proche.

Puis il faut tailler ces pierres, et pour cela il faut des ouvriers d'art : et enfin il faut bâtir, ce qui ne peut se faire que par des maçons, presque toujours en petit nombre et chèrement payés.

La construction des travaux de défense d'une place de guerre, faits en briques ou en pierre, suppose donc, ce qui ne se rencontre pas toujours facilement, un temps très-long pour l'édification, et le concours d'un nombre suffisant de carriers, tailleurs de pierre, faiseurs de briques et maçons, sans lesquels il ne serait pas possible de fortifier les villes.

Il n'en serait pas de même si les fortifications étaient construites en bétons agglomérés.

Car, ou la place à fortifier serait établie sur une rivière fournissant le sable nécessaire à la confection des bétons, ou cette ville se trouverait à portée de carrières de sable, ou bien enfin, à défaut de sable, on pourrait se procurer de la terre plus ou moins argileuse, et ce ne serait qu'à défaut de sable ou de terre argileuse qu'il faudrait avoir recours à la brique ou à la pierre. Mais le cas d'absence de ces matériaux est excessivement rare.

Donc, étant admis qu'il existe du sable ou de la terre argileuse, il suffirait de quelques locomobiles, que l'on aurait toujours en grand nombre dans le matériel de guerre, pour produire chaque jour et par chaque locomobile soixante-dix à quatre-vingts mètres cubes de bétons, donnant, par l'agglomération, cinquante à soixante mètres cubes de maçonnerie.

Dix locomobiles fourniraient donc cinq cents mètres cubes de maçonnerie par jour.

Chaque locomobile emploierait le travail de trente hommes : donc trois cents hommes construiraient cinq cents mètres cubes de maçonnerie par jour entièrement finie, et encore il faut admettre que le travail de l'homme ne serait pas suppléé par des machines pilonneuses produisant l'agglomération, auquel cas le nombre des ouvriers pourrait être réduit dans une grande proportion.

Ainsi, premier avantage : le nombre des ouvriers pourrait être sensiblement réduit, car il faudrait plus de trois cents hommes pour faire cinq cents mètres de maçonnerie de briques ou de pierre chaque jour.

Mais, ce qui est bien plus important, ce qui devient le triomphe de la construction en bétons, c'est que les trois cents ouvriers nécessaires à la confection des cinq cents mètres de maçonnerie par jour, sauf un machiniste pour soigner chaque locomobile, un piqueur pour soigner la bonne confection du béton, un piqueur pour surveiller le pilonnage, et deux charpentiers ou menuisiers pour poser les moules, en tout cinq hommes par locomobile, les vingt-cinq autres peuvent être pris au hasard parmi la population ou l'armée. Il n'est pas besoin d'apprentissage pour porter du béton, l'étaler, le pilonner, il ne faut que de la force ; là est vraiment la cause de la supériorité de ce genre de construction ; car l'armée, la population, attaquées presque sous les yeux de l'ennemi, peuvent construire, réparer et relever les murailles.

Rien n'est plus facile à concevoir que chaque nuit, par exemple, comme cela se faisait à Sébastopol, les

populations assiégées élèvent un nouveau rempart derrière un rempart compromis.

Ces remparts improvisés pourraient être construits soit en employant des sables entassés à l'avance, soit même en employant la terre argileuse que fournirait le sol des approches de la ville.

Et dans ce cas, quel avantage de n'avoir à employer ni voitures, ni tailleurs de pierre, ni maçons, et de se servir du sol lui-même à pied-d'œuvre, comme élément principal de la construction !

Quant à la chaux, en temps de paix on la ferait venir au fur et à mesure de l'emploi ; en temps de guerre, on pourrait faire des approvisionnements d'avance, et en remplir des casemates bien sèches et bien fermées, où la chaux se conserverait indéfiniment.

Tels sont les avantages que présenteraient les bétons agglomérés sur la maçonnerie de pierres ou de briques pour la défense des places de guerre.

DES SILOS

ET

DES DOCKS.

DES SILOS

ET

DES DOCKS.

C'est avec une espèce d'affectueuse prédilection que nous abordons ici ce sujet, que nous avons élucidé déjà ailleurs au point de vue théorique (1), longtemps avant d'en avoir donné la solution matérielle par l'emploi des bétons agglomérés; et si une idée nous a plus particulièrement soutenu dans nos luttes, dans nos défaillances, c'est la conviction que nous avons que la réalisation, dans la pratique, de la réforme de la circulation par les docks, et de l'organisation du crédit mutuel sans intérêts, pouvait trouver dans l'emploi des bétons agglomérés les conditions matérielles du succès, puisque non-seulement ce mode de bâtir apportait tout à la fois la solidité et le bon marché, mais encore, ainsi que nous allons le voir, le moyen de conserver indéfiniment comme gage de crédit les blés, les vins, les huiles et une foule d'autres denrées.

Il ne peut entrer dans notre pensée d'introduire dans une publication toute spéciale une dissertation économique qui lui serait étrangère et qui d'ailleurs trouvera sa place plus tard dans d'autres publications; il suffira de dire que l'application des bétons agglomérés à la confection des silos peut, au point de vue économique et social, atteindre la plus haute, la plus radicale importance:

(1) Dans la *Réforme du crédit et du commerce*, 1849, édition entièrement épuisée, et dans des séries d'articles publiés dans *la Presse* et dans *l'Estafette;* voir le travail de M. Darimon sur les banques.

1° Parce que la généralisation de silos conservant toutes les céréales, tous les vins, toutes les huiles, peut seule mettre enfin un terme aux disettes, aux accaparements, aux exagérations en hausse ou en baisse des prix faits par la spéculation, c'est-à-dire à la ruine périodique et alternée tantôt du producteur, quand le prix des denrées tombe au-dessous du prix de revient aussitôt qu'il y a une simple apparence d'abondance, tantôt du consommateur, quand les prix s'élèvent souvent au double du prix normal à la moindre apparence de disette.

Avec les silos généralisés, l'excédant des récoltes, moyennant un système de crédit dont les denrées seraient le gage, serait emmagasiné pendant les années d'abondance au lieu d'encombrer le marché et d'écraser les cours, tandis qu'en temps de pénurie l'excédant des années fécondes. conservé dans les silos, serait alors jeté dans la circulation, empêchant ainsi ces hausses exagérées, bien plus cruelles que la guerre, car c'est par milliards qu'elles enlèvent les économies des travailleurs;

2° Parce que la généralisation des silos, qui assureraient la conservation illimitée des denrées, les rendrait ainsi un gage aussi durable, aussi assuré, aussi certain que le sont aujourd'hui l'or, l'argent, les métaux et quelques produits privilégiés, les soies, les laines, les suifs, etc., de telle sorte que, sans aucun danger de perte, le crédit pourrait enfin être ouvert à l'agriculteur aussi facilement qu'il peut l'être aujourd'hui au commerçant et au manufacturier;

3° Parce que la généralisation des silos se faisant en

même temps que celle des docks dans les villes, qui recevraient les produits manufacturés, un échange permanent pourrait constamment s'opérer entre les silos et les docks, entre les denrées agricoles et les produits manufacturés et sans intermédiaire, de telle sorte que la manufacture recevrait à prix d'origine les denrées alimentaires ou les matières premières qui lui seraient nécessaires, tandis que l'agriculteur recevrait à prix de fabrique ses outils, ses vêtements et tout ce dont il pourrait avoir besoin ;

4° Parce que la généralisation des silos et des docks ne pourrait être opérée, les denrées agricoles et les produits manufacturés ne pourraient être consignés et conservés, sans devenir le gage, l'objet de l'émission d'un signe représentatif, monnaie ou billet de banque, représentant l'ensemble des denrées conservées, au même titre que le billet de banque actuel représente l'or et l'argent ; seulement, le billet fondé sur consignation de valeurs autres que l'or et l'argent, n'étant jamais émis que pour une valeur moindre que celle du gage consigné, ce billet aurait sur le billet de banque ordinaire, qui n'est jamais émis que pour une valeur double ou triple du gage d'or et d'argent, ce qui est la source des paniques périodiques et des crises commerciales, il aurait l'avantage, disons-nous, d'avoir toujours dans les silos ou dans les docks sa contre-valeur, contre laquelle il pourrait toujours être échangé à vue, par conséquent sans perte, sans perturbation, sans crises, puisqu'il n'y aurait jamais en circulation plus de billets de banque qu'il n'y aurait de gage.

Ce qui vient d'être dit est trop succinct pour bien

faire comprendre l'importance de la création des docks et des silos; il suffit pourtant pour l'indiquer : ce sujet, au point de vue théorique, sera traité plus amplement ailleurs; mais, en admettant l'importance que nous attribuons à la création des silos et des docks, nous pouvons immédiatement reconnaître que cette institution dépassant les ressources des individus, ne pourrait être qu'une institution communale s'il s'agit des campagnes, municipale s'il s'agit des villes.

En ce qui concerne les silos, de même que les communes ont aujourd'hui des églises, des mairies, des écoles, et surtout, dans certaines localités, des ateliers communaux où se fabriquent les fromages, elles devraient avoir chacune un régime de silos où tous leurs habitants, moyennant une rétribution modique, viendraient consigner leurs denrées, se déchargeant ainsi du soin de leur conservation.

Mais l'établissement de ces régimes de silos ne peut se faire qu'à la condition que leur mode de construction répondra bien aux exigences et assurera bien la conservation des récoltes, en même temps que la construction pourra en être faite à très-bas prix afin de ne pas dépasser les ressources des communes les plus pauvres.

L'importance des silos a toujours attiré l'attention publique; les Romains en faisaient usage, les Arabes s'en servent encore; mais l'usage n'a pu se répandre dans les contrées du Nord, soit parce que les moyens pratiques de confection sont tombés en désuétude, en oubli, soit parce que la construction en serait jusqu'à

présent trop coûteuse, soit encore parce qu'on ignorait les lois mêmes de la conservation des céréales ; toujours est-il que les tentatives ont avorté : les silos n'existent nulle part, et l'attention des économistes agricoles se porte plutôt vers la singulière conception de la conservation du blé au moyen d'une agitation perpétuelle. Nous disons *singulière*, car ces espèces de greniers où les céréales seraient constamment tenues en mouvement coûteraient plus qu'il ne faudrait pour être pratiques, et exigeraient une dépense prodigieuse et perpétuelle de force pour maintenir constamment les blés en mouvement.

Néanmoins, depuis quelques années, l'attention de quelques hommes intelligents s'est portée vers les silos, M. Doyère, notamment, a reconnu d'une manière précise que les blés ne pouvaient être mis en silos et conservés indéfiniment que moyennant que l'humidité contenue dans les céréales à conserver ne dépasserait pas douze à quatorze pour cent du poids du blé ; or, comme dans nos climats humides les blés contiennent au moins seize pour cent d'eau, il a reconnu qu'ils ne devaient être rentrés qu'après avoir subi une dessiccation artificielle préalable.

Une fois ce point important bien établi, il a imaginé de construire des silos en tôle galvanisée peinte au minium pour plus de sécurité, et entourés de béton ordinaire ; le succès a complétement accompagné ses efforts : la tôle a parfaitement préservé de l'humidité extérieure les blés qu'elle contenait, et la conservation a été complète.

Malheureusement de tels silos coûtent cher à établir :

la capacité d'un hectolitre revient au moins à quatre francs; et, d'un autre côté, il est à craindre que, malgré toutes les précautions, la durée de la tôle, même galvanisée, malgré la peinture, malgré le béton ordinaire, qui n'est pas imperméable, ne soit pas très-longue et qu'il ne faille bientôt la renouveler.

Aucuns de ces inconvénients n'existeraient avec les bétons agglomérés; comme économie, pendant qu'avec le système Doyère la capacité d'un hectolitre revient à quatre francs, la même capacité coûterait dans l'avenir dix fois moins cher peut-être, car pour quatre francs il sera souvent possible d'obtenir la capacité d'un mètre au lieu d'un hectolitre, c'est-à-dire que la dépense serait pour ainsi dire couverte par la recette d'une seule annuité de la modique subvention que l'agriculteur aurait à payer pour la conservation de son blé.

Quant à la durée, nous ne craignons pas de le dire, elle serait éternelle, puisque le temps ne fait qu'augmenter la solidité, la dureté, l'imperméabilité des bétons.

Ceci n'est point contestable; reste à savoir si le béton aggloméré est bien assez imperméable pour assurer la conservation du blé.

Le béton aggloméré est aussi imperméable que la pierre dure, et cette imperméabilité est complétée encore par le monolithisme, par l'absence de joints, tandis que l'emploi de la pierre même la plus dure présente toujours des joints qui sont une cause presque invincible d'introduction de l'humidité.

Le béton aggloméré est bien plus imperméable que a meilleure brique, et pourtant les anciens ont fait

avec succès des silos en pierres et en briques : donc on en peut faire en béton d'autant mieux que rien n'est plus facile que d'isoler les silos de la partie inférieure du sol en les bâtissant sur une plaque de plomb ou de cuivre ou de tout autre métal durable, et d'appliquer sur toutes les faces des silos, à l'extérieur comme à l'intérieur, des solutions incrustantes, telles que le biphosphate de chaux ou les silicates, qui, se combinant avec la chaux des bétons, formeraient un vernis analogue à celui de la porcelaine, lequel boucherait tous les pores et rendrait toute perméabilité impossible.

Ou bien on pourrait à la rigueur employer les peintures isolantes à l'huile, à la résine, à l'asphalte; mais ce moyen nous paraît moins bon.

Peut-être faudrait-il les employer simultanément : mais ce qui garantirait bien plus encore les silos de l'humidité, ce serait de les construire au-dessus de la surface du sol.

Sur le sol, en effet, les silos ne seraient plus soumis au contact des eaux pluviales, des cours d'eaux souterraines, de l'humidité se produisant de proche en proche par absorption.

Que l'on choisisse un sol plus élevé que les parties avoisinantes, afin que les eaux tendent à s'écouler au loin.

Sur ce sol on pourra bâtir une série de silos ayant la forme d'hexagones et disposés comme les alvéoles des gâteaux de miel, afin d'occuper le moins d'espace possible et d'économiser la maçonnerie, la même paroi servant toujours à deux silos à la fois.

L'intérieur de ces silos aurait la forme d'une bou-

teille hexagonale immense se terminant à la partie supérieure par un col allongé, par lequel se ferait l'introduction du blé à conserver et au besoin par lequel un homme pourrait s'introduire dans le silo.

Nous pouvons supposer qu'il s'agit d'établir un régime de vingt-cinq à trente silos.

On jettera sur le sol une première couche de béton aggloméré.

Sur cette couche on appliquera une feuille mince de plomb, de cuivre ou de tout autre métal durable qui aura pour but d'arrêter l'ascension de l'humidité du sol s'il s'en produisait.

Sur cette feuille de métal on poserait une nouvelle couche de béton aggloméré qui formerait le fond des silos.

Sur cette dernière couche, au moyen de quelques moules en bois ayant la forme d'hexagones, on élèverait les parois des silos jusqu'à la hauteur voulue.

Puis peu à peu on rétrécirait cet hexagone pour arriver à former à la partie supérieure une ouverture fermée par un trou d'homme en fonte, semblable à ceux usités pour les chaudières à vapeur.

Une fois ce régime de vingt-cinq à trente silos bâti, il ne s'agirait plus que de les mettre à l'abri de l'humidité de l'air, puisque celle du sol ne serait plus à craindre, et de la chaleur, qui est la cause la plus active de la fermentation et de la destruction du grain.

Pour mettre à l'abri de l'humidité de l'air ou des eaux pluviales, de deux choses l'une :

Ou l'on recouvrirait le régime de silos d'une toiture

ordinaire, ou plutôt d'une toiture de béton, qui rejetterait au loin les eaux pluviales;

Ou bien, au niveau des vingt-cinq ou trente trous d'homme, on jetterait un dallage de béton aggloméré qui, par son étanchéité, ne laisserait pas pénétrer l'humidité et ferait couler l'eau en dehors des silos.

Ces deux moyens peuvent être employés simultanément, et, par excès de précaution, on appliquerait, ainsi que nous l'avons vu, à la surface interne et externe des silos, une peinture protectrice.

Par ces divers moyens, les silos étant hors du sol, et hors, par conséquent, du contact dangereux de l'humidité souterraine, puisque les eaux sont rejetées au loin par des toitures et des dallages, les silos étant rendus absolument imperméables par des incrustations salines, il est évident que le blé serait au moins aussi à l'abri de l'humidité que s'il se trouvait dans des vases de tôle, conformément au procédé Doyère.

Reste la question de la chaleur à éviter. En principe, plus la température sera basse, plus sera facile et certaine la conservation du grain; mais, en pratique, la température la plus basse que l'on puisse atteindre est celle des caves ordinaires, c'est-à-dire 12 à 15 degrés centigrades au-dessus de zéro.

Pour obtenir dans l'intérieur des silos la température des caves, il ne s'agirait que de réaliser les conditions naturelles d'où résulte cette température moyenne des sous-sols.

Or, que voyons-nous dans la nature? Qu'il suffit de creuser dans le sol un trou de deux ou trois mètres, pour trouver la plus basse température moyenne.

Donc, pour conserver cette température moyenne dans l'intérieur du régime de silos, il n'y aurait qu'à l'entourer en tous sens d'une couche de terre de deux ou trois mètres, qui suffirait pour établir la moyenne de température des caves.

En conséquence, tout autour du régime de silos, on établirait un mur de ceinture sans ouverture, à une distance de deux ou trois mètres du silos, puis on remplirait de terre pilonnée cet espace de deux ou trois mètres, et alors l'épaisseur du mur d'enceinte, des parois des silos et de la terre jetée entre le mur et ces silos serait plus que suffisante pour empêcher l'élévation de la température et arriver à la moyenne de la nature dans le sol.

Ce n'est pas ici le lieu de parler des précautions à prendre, de la dessiccation préalable du blé, de l'ensilage pendant la nuit ou dans la saison froide, afin de ne pas introduire du blé d'une température élevée; nous n'avons ici qu'à parler des silos en béton aggloméré, et nous en avons assez dit en ayant démontré que leur établissement ne serait qu'une charge légère pour le commerce, et que ces silos seraient mis d'une manière absolue à l'abri de l'humidité et de la chaleur, conditions nécessaires mais certaines du succès.

Il nous reste à parler des avantages spéciaux que l'emploi des bétons agglomérés peut offrir pour la construction des docks.

Les docks ne doivent pas être seulement, comme en Angleterre ou dans les ports de mer de France, de vastes magasins destinés à recevoir et abriter les marchandises provenant par mer des pays éloignés. Les docks, à l'intérieur, doivent être à la manufacture ce que les silos

sont à l'agriculture ; ils doivent être un lieu de dépôt et de conservation, où tout manufacturier, tout travailleur pourra déposer ses produits, comme l'agriculteur déposera son blé. Ce produit déposé donnera lieu à l'émission d'un signe représentatif d'échange, constamment échangeable à vue, contre les produits déposés dans les docks et les silos; et en fait, l'échange, de même que l'avance des produits, s'opérerait entre les produits agricoles et manufacturiers, sans intermédiaires, sans spéculation, c'est-à-dire que par ce moyen le crédit, se faisant directement par l'avance du produit, aurait lieu sans intérêt.

Il faut donc que la construction des docks soit à la fois relativement peu coûteuse, et qu'elle assure parfaitement et la sécurité et la conservation des marchandises qui pourraient être déposées.

Par conséquent, les fondations et le sous-sol tout entier devront être imperméables, de manière que, en cas d'inondations ou d'infiltrations souterraines, les eaux extérieures ne puissent pénétrer dans les caves. Ce résultat, on le comprend, sera obtenu par la force de l'imperméabilité des maçonneries de béton aggloméré, au moyen desquelles on bâtirait le mur de pourtour des fondations, sans y laisser aucune ouverture, et en recouvrant le sol inférieur d'un dallage assez épais pour résister à la pression des eaux extérieures.

Les voûtes des caves seraient aussi en béton monolithe étanche.

Dans les caves et les rez-de-chaussée seraient établis, au besoin, des citernes, des fosses propres à contenir les vins, les huiles, les alcools, les essences,

de telle manière que, par ce moyen, on pourrait conserver ces produits indéfiniment, sans éprouver les pertes considérables qu'ils subissent ordinairement au contact de l'air.

Les étages supérieurs, comme dans les docks ordinaires, seraient destinés à la conservation de tous les autres produits.

Au point de vue de l'économie, elle proviendrait de ce que, au moyen du béton monolithe, on construirait toutes caves étanches, tous réservoirs, toutes citernes, tous silos, sans joints. On élèverait des bâtiments monolithes aux plus grandes hauteurs, avec une certitude reconnue de solidité, sans avoir recours ni au bois, ni à la pierre de taille, ni aux armatures en fer.

Mais, ce qui donnerait dans ce cas à l'emploi du béton une véritable supériorité sur tout autre système, c'est la sécurité qu'il présente contre les chances d'incendie.

En effet, les plus vastes bâtiments des docks, caves, murs, planchers, toitures, pourraient être intégralement en béton aggloméré, sans aucune intervention de bois, ni pour les planchers ni pour les toitures.

De telle sorte que chaque salle, chaque compartiment des docks n'offrant que des surfaces de béton incombustibles, il suffirait, dans le cas où les produits eux-mêmes viendraient à s'enflammer, de fermer hermétiquement les ouvertures, c'est-à-dire les portes et les fenêtres, au moyen de volets et de portes en fer qui, supprimant l'arrivée de l'air extérieur, arrêteraient subitement les plus violents incendies.

Ainsi, au lieu de voir, comme cela a eu lieu à Londres, des vingtaines de millions de valeurs détruites par l'incendie en quelques heures, sans pouvoir y apporter aucun empêchement, et cela par le fait des toitures et planchers en bois, il suffirait, pour arrêter tout à coup le plus violent incendie et pour l'empêcher de s'étendre au reste du bâtiment, de fermer brusquement et hermétiquement les portes et les fenêtres, sans être obligé de recourir aux secours du dehors, qui n'arrivent jamais que quand le mal est irréparable.

Par ce moyen, un simple gardien pourrait à lui seul couper le mal à sa racine.

La sécurité serait d'autant plus grande que, grâce à la solidité des planchers et toitures de béton, on pourrait, sans inconvénient, établir dans la partie supérieure des docks, des réservoirs en béton, au moyen desquels également, en fermant portes et fenêtres, on pourrait submerger les compartiments incendiés.

CHEMINS DE FER.

CHEMINS DE FER.

Si l'agriculture, les constructions particulières, les services publics, les grands travaux d'art peuvent trouver dans l'emploi des bétons agglomérés des avantages si nombreux, si importants, si nouveaux, il est facile de concevoir que les chemins de fer ne manqueront pas d'en trouver d'autres non moins nombreux et tout aussi importants.

Si on se reporte à toutes les applications que nous avons déjà énumérées, on comprendra qu'en effet, gares, stations, maisons de garde, ateliers et hangars incombustibles, trottoirs, dallages, ponts, ponceaux, viaducs, tunnels, piliers de réservoirs, réservoirs, massifs de grues ou de plaques tournantes, et tant d'autres, sont des applications faciles à exécuter avec un avantage immense de solidité et d'économie.

Mais, à un autre point de vue, l'emploi des bétons agglomérés dans la construction des chemins de fer présente un intérêt bien plus vif encore. La civilisation, en effet, tendant de plus en plus, chaque jour, à réunir les peuples les plus éloignés, à abréger les distances par des moyens plus rapides de communication, les chemins de fer, le plus puissant agent de circulation, auront donc à traverser des déserts, des pays barbares et sans industrie. Or, si, comme aujourd'hui, le moindre travail d'art exige un nombre considérable d'ouvriers spéciaux, d'autant plus chèrement payés que les travaux seront plus éloignés ou élevés dans des pays plus arides ou plus barbares, on concevra que la dépense entraînée

par la création des chemins de fer deviendrait si exorbitante qu'il faudrait y renoncer.

Si, au contraire, par les bétons agglomérés il n'y a plus besoin d'autres ouvriers que ceux en petit nombre nécessaires pour guider les moules et surveiller la trituration, s'il n'y a plus besoin d'aller au loin chercher d'énormes pierres si difficiles à trouver partout, et surtout si difficiles à transporter en l'absence de routes, on reconnaîtra que, pour créer les chemins de fer, la main-d'œuvre pourra être fournie à bas prix par les populations des localités traversées, et les travaux d'art s'élèvront sans extraction coûteuse de pierres, sans transports onéreux, sans tailleurs de pierres et sans maçons.

N'est-il pas évident qu'à ce point de vue ce procédé est un agent énergique et puissant de civilisation?

A un autre point de vue, ce procédé est peut-être appelé à aller plus loin encore, car il peut donner la base d'une réforme radicale dans la construction même des voies ferrées.

En effet, aujourd'hui les rails, au moyen de coussinets en fonte, sont placés sur des traverses en bois, lesquelles sont enfoncées sous le sol, et par conséquent soumises au contact permanent de la terre humide qui en amène promptement la destruction. Ce système primitif est l'enfance de l'art, car il a les plus graves inconvénients. Il exige d'énormes quantités de bois, qu'il faut fréquemment renouveler, qui dépeuplent les forêts et coûtent des sommes immenses, dépense d'autant plus grande, difficulté d'autant plus difficile à vaincre que les chemins de fer ont souvent à traverser des espaces considérables complétement déboisés.

Ces traverses en bois, soit par l'action des pluies sur les remblais de la voie, soit par la vétusté, s'enfoncent à chaque instant dans le sol, détruisant ainsi l'horizontalité si nécessaire, pourtant, des lignes de fer; de telle sorte que les trains à chaque instant subissent des inflexions, et s'inclinent tantôt à gauche, tantôt à droite, suivant l'inclinaison produite par l'enfoncement des traverses dans le sol de la voie.

D'un autre côté, par ce système, les rails ne sont supportés que sur des points espacés de quatre-vingts centimètres, si bien que, quelle que soit la force des rails, lorsque des convois aux machines lourdes et puissantes parcourent la voie, le rail plie plus ou moins sous le poids des machines, tandis que le point mort établi sur les traverses ne plie pas; au lieu donc, comme il serait nécessaire, de trouver une ligne parfaitement horizontale, les convois parcourent une série infinie de courbes et de points morts qui produisent cette trépidation désagréable que tout le monde connaît et redoute, et qui amène la destruction rapide du matériel.

Enfin, soit pour changer les traverses, soit pour les redresser, soit pour réparer les rails, les voies des chemins de fer sont constamment en état de réparation, source de dépenses considérables et d'accidents fréquents.

N'est-il pas évident que l'idéal, en fait de chemins de fer, serait des remblais qui ne se tasseraient jamais, que les plus grandes pluies, les plus rudes gelées n'altéreraient point, des traverses qui ne pourriraient jamais, qu'on n'aurait jamais à relever ni à changer, des rails qui seraient parfaitement horizontaux, qui ne fléchiraient

jamais sous le poids des convois, et qui par conséquent ne présenteraient pas à la marche des convois une série de courbes alternées de points morts, un chemin de fer qui n'exigerait jamais ni balast ni réparations, et enfin qui coûterait moins cher que les chemins actuels?

Cet idéal, à notre avis, peut être réalisé par les bétons agglomérés ; c'est ce que nous allons voir.

Aucun des inconvénients qui viennent d'être cités n'existerait si, à la surface de la voie des chemins de fer, on établissait une dalle continue et monolithe de béton aggloméré.

Cette dalle sans joints, sans fissure, couvrirait d'un seul bloc toute la superficie de la voie.

A la surface de cette dalle continue on réserverait, pendant la confection du béton, des rainures parfaitement horizontales dans lesquelles les rails seraient introduits.

Ces rails, on le conçoit, auraient une forme nouvelle, facile à obtenir au laminoir.

Au lieu, comme aujourd'hui, d'être renflés des deux côtés, ils ne présenteraient qu'un seul renflement, et leur partie inférieure serait une simple bande de fer supportant la partie renflée, et n'ayant que deux à trois centimètres d'épaisseur.

Pour poser les rails dans la rainure de béton, il ne s'agirait que d'y introduire à juxtaposition la partie inférieure du rail, qui se trouverait ainsi encastrée dans toute sa longueur dans la rainure réservée dans le béton.

Dans ce cas, de deux choses l'une : ou le rail reposerait par sa partie inférieure sur le fond même de la rai-

nure, ou bien sa partie inférieure ne porterait pas sur le fond de la rainure, et ce seraient les bords inférieurs du renflement qui porteraient sur le bord de la rainure : l'expérience aurait à prononcer sur le plus ou le moins de solidité des deux systèmes.

Dans l'un ou l'autre cas l'on trouverait les avantages suivants :

Le rail serait soutenu sur tous les points d'une manière égale dans toute sa longueur ; étant ainsi soutenu, il ne fléchirait point sous le poids des convois ; par conséquent le poids des rails pourrait être diminué d'un tiers peut-être, et même, après cette réduction de poids, ils ne fléchiraient pas comme le font les rails lourds actuellement en usage, qui, malgré leur force excessive, plient sous le poids des locomobiles de manière à former une série de courbes et de points morts ; les rails, encastrés dans les rainures de la surface de béton, offriraient au convoi une ligne soutenue, parfaitement horizontale, ce qui éviterait la trépidation pénible, si fatigante pour les voyageurs.

Par ce moyen, les traverses en bois seraient supprimées ; par conséquent une dépense énorme serait économisée ; les forêts ne seraient plus dépeuplées, et l'horizontalité de la voie ne serait plus compromise par le dérangement des traverses, qui ne pourriraient plus, qui ne s'enfonceraient plus, qui n'entraîneraient plus des hors de niveau, cause ordinaire des déraillements, et enfin qui n'exigeraient plus d'être, à chaque instant, relevées, réparées, remplacées, au grand détriment de la sécurité des voyageurs et du bénéfice des compagnies.

Les coussinets, qui ordinairement fixent les rails sur

les traverses, seraient supprimés, ce qui entraînerait une grande économie.

La pose des rails et leur changement seraient énormément simplifiés, car pour l'opérer il n'y aurait qu'à placer le rail dans la rainure : donc on pourrait l'ôter avec une égale facilité ; deux hommes en poseraient des kilomètres chaque jour.

A tous ces avantages de solidité, de sécurité, de durée et d'économie, il faut ajouter que la couche de béton aggloméré établie sur la surface de la voie formerait un dallage monolithe imperméable, qui abriterait la voie d'une manière absolue, empêcherait tous les tassements, toutes les détériorations produites actuellement par les pluies, et par conséquent les voies n'étant plus humides n'auraient plus rien à craindre des gelées.

Si ce procédé était praticable, il offrirait évidemment sur l'ancien système des avantages incontestables, il réaliserait bien l'idéal dont nous parlions plus haut.

Mais est il pratique? est-il même possible? C'est ce que nous allons examiner.

1° Le béton aggloméré offre-t-il assez de résistance à l'arrachement ou à l'écrasement pour que le fond ou les bords de la rainure puissent supporter le poids des convois augmenté de leur rapidité et de leur force d'impulsion?

2° La rigidité d'une voie de bétons où les rails seraient soutenus dans toute leur longueur ne supprimerait-elle pas une élasticité nécessaire?

3° Les tassements des remblais de la voie n'amèneraient-ils pas la rupture et l'affaissement de la dalle de

de béton, et par conséquent le hors de niveau des rails, et cela d'une manière irrémédiable?

4° Enfin le prix de revient d'un pareil système ne serait-il pas trop élevé, plus élevé que l'ancien?

La résistance des bétons agglomérés égalant, quand il est nécessaire, celle des pierres les plus dures, serait plus que suffisante pour résister au poids des convois, amenés même à la plus grande vitesse, d'autant plus que, par la suppression des courbes des rails et des points morts, le poids des convois ne serait plus aggravé de la trépidation qui est la principale cause de détérioration des voies actuelles. Ce qui prouve que cette résistance serait plus que suffisante, c'est que les chaussées supportent le roulement, le pivotement des plus lourdes voitures sans altération, leur surface subissant directement le contact même du fer des roues, tandis que, dans les chemins de fer, l'effort des roues de locomobiles ne se transmettrait aux bétons que par l'intermédiaire du rail qui éviterait ainsi le contact immédiat et répartirait l'effort sur une certaine longueur, ce qui diminuerait en toute proportion l'effet produit sur un seul point, ainsi qu'il arrive pour les chaussées.

La désagrégation des bétons serait d'autant moins à craindre, dans ce cas, que le convoi, roulant sur une ligne parfaitement horizontale, ne donnerait lieu à aucuns chocs, de telle sorte que le poids du convoi, quoique en pleine vitesse, agirait sensiblement comme un poids immobile; or ce n'est pas le poids qui serait à craindre, c'est le choc.

Un poids, quelque considérable qu'il pût être, ne serait pas à craindre, parce qu'il se répartirait sur une

certaine longueur de rail, représentant une surface assez grande pour que le poids se divisât sur un nombre assez considérable de centimètres carrés.

Or, d'après ce que nous avons dit précédemment de la résistance des chaussées de bétons, dont chaque centimètre, sous la pression d'une lourde voiture pivotant sur elle-même, supporte évidemment cinq cents kilos au moins par centimètre carré, il est clair que le poids d'une locomobile (quarante mille kilos), reposant sur ses roues, ne donnerait pour chaque roue qu'un poids de sept mille kilos environ.

Or, si l'on calcule que les roues sont éloignées les unes des autres de plus d'un mètre, si l'on se souvient que la partie inférieure des rails encastrée dans le béton doit avoir deux centimètres au moins d'épaisseur, on reconnaîtra que chaque roue reposant sur une surface de rail de cinquante à cent centimètres, le poids de sept mille kilos que représente chaque roue ne donnerait que cent quarante kilos par centimètre dans le premier cas, et soixante-dix dans le second, et en réalité ces chiffres seraient bien loin d'être atteints.

Pour éviter encore mieux l'effet du choc, la partie du rail contenue dans la rainure pourrait reposer sur une bande flexible d'étoffe, de bois, de caoutchouc, de manière à éviter le contact direct du fer et du béton; mais nous croyons cette précaution tout à fait inutile, la puissance de résistance du béton à l'écrasement par le poids des convois étant, comme nous l'avons vu, bien supérieure à l'action de ce poids.

La résistance à l'arrachement serait encore bien plus que suffisante pour maintenir le rail, dans le cas où le

convoi, faisant un effort latéral, tendrait à dérailler, si on en juge par le procédé actuellement employé au chemin de fer du Nord, où les rails ne sont plus maintenus par des coussinets en fonte, mais bien par de simples clous enfoncés dans les traverses; cet effort latéral est loin d'être considérable, mais le fût-il beaucoup que la résistance du béton serait encore plus grande.

En effet, si l'on suppose un rail enfoncé à juxtaposition dans une rainure, à une profondeur de cinq centimètres, pour que ce rail pût se renverser, il faudrait nécessairement qu'il arrachât suivant une diagonale le côté de la rainure opposé à la force de renversement produite.

Cet arrachement se produirait donc sur une surface de sept centimètres environ; or, comme chaque centimètre de béton offre une résistance à l'arrachement de dix kilos au moins, le mouvement ne pourrait avoir lieu que sous un effort de plus de soixante-dix kilos par centimètre, de sept mille kilos par mètre courant, effort dix fois, vingt fois plus grand que celui qu'il s'agit de vaincre, puisqu'au chemin de fer du Nord, encore une fois, quelques clous suffisent pour l'équilibrer.

Donc en tant que résistance à l'écrasement et à l'arrachement, le béton aggloméré est bien supérieur aux moyens actuels.

Leur emploi serait-il rendu impossible par la suppression de l'élasticité que présente aujourd'hui le système des traverses? nous ne le croyons pas; il nous semble que quand on suppose que l'élasticité est une condition nécessaire de toute bonne voie, on obéit à une illusion.

Aujourd'hui, il est vrai, l'élasticité est indispensable,

parce que les rails n'étant soutenus que par des points ordinairement espacés de quatre-vingts centimètres, il arrive que sous le poids des locomobiles ces rails trop espacés fléchissent, de telle sorte qu'un train en mouvement, au lieu de rouler sur des plans parfaitement horizontaux, parcourt une série de courbes alternées avec des points morts; et si ces points morts ne fléchissaient pas sous le poids des convois, ils ne pourraient être franchis sans donner lieu à des secousses insupportables au voyageur, et destructives du matériel.

Mais si les points de repos des rails ne doivent pas être rigides, c'est parce qu'ils succèdent à des courbes; si ces courbes n'existaient pas, il n'y aurait pas de points morts à franchir.

Or, ces courbes n'existeraient pas si le rail était soutenu sans interruption dans toute sa longueur, ainsi qu'il serait dans une rainure de bétons; il est clair que, dans ce cas, il n'y aurait aucune flexion, par conséquent aucune courbe, et par suite aucuns points morts, aucuns chocs.

Une voie ferrée, dont les rails seraient supportés dans toute leur longueur, offrirait à la circulation une surface parfaitement horizontale, où les convois voleraient pour ainsi dire, avec une régularité si parfaite, que nul bruit, nulle secousse n'avertirait le voyageur que le train est en mouvement, le train planerait plutôt qu'il ne roulerait.

Mais, avons-nous entendu dire, puisque le béton aggloméré est dur comme la pierre, sa rigidité serait un obstacle à la circulation, et ce qui le prouve, c'est qu'en France et aux débuts, les rails du chemin de Saint-

Étienne avaient été posés sur des blocs de pierre, et non sur des traverses en bois, et ce système a été si incommode pour les voyageurs, si destructeur pour le matériel, si dangereux par le manque de parallélisme entre les voies, qu'il a fallu remplacer les dés en pierres par des traverses en bois : donc le béton, ayant la rigidité de la pierre, ne peut être employé.

Oui, il est vrai que ce changement a eu lieu ; mais il ne prouve rien contre l'emploi des bétons.

Si on a changé les dés en pierres du chemin de Saint-Étienne, c'est encore parce que les rails ne reposant sur ces pierres que par des points espacés entre eux de quatre-vingts centimètres au moins, ces rails étant du reste très-faibles, ils fléchissaient sous le poids du convoi qui, lancé à vitesse, se heurtait à chaque point de repos contre un point mort rigide, ce qui produisait le choc qu'on veut éviter.

Mais dans une rainure de bétons, encore une fois, le rail ne fléchirait pas ; il n'y aurait donc pas de points morts, et par conséquent pas de chocs.

Quant au parallélisme de la voie, le béton aggloméré, par la résistance à l'arrachement et par son propre poids, offrirait un bien plus grand obstacle que les traverses en bois toujours à moitié pourries : il n'y a rien à redouter de ce côté.

Ce n'est donc pas encore par là que l'emploi du béton pour les voies de chemin de fer peut être insuffisant ou mauvais.

Une objection plus fondée se trouverait dans les tassements des remblais, qui tendent à s'affaisser pendant des années entières, surtout sous l'action des pluies et

des gelées : il est clair que si ces remblais se tassaient sous une surface de béton et sur une grande longueur, le béton se briserait, il s'affaisserait en entraînant les rails, l'horizontalité de la voie serait détruite, la circulation serait suspendue.

A cela voici ce que nous avons à répondre :

Ces effets ne seraient à redouter que dans les terrains susceptibles de tassements, c'est-à-dire sur les terrains rapportés ; mais ils ne se produiraient pas dans les terrains solides, tels que ceux qu'on obtient par déblais ; là il n'y a pas de tassements à craindre, et une dalle monolithe de bétons, une fois établie, le serait à jamais : donc pas d'obstacle dans ce cas à l'emploi des bétons agglomérés.

Quant aux terrains rapportés, lorsque le premier tassement a été opéré, il ne se continue ensuite que par l'action des pluies, et consécutivement par l'action des gelées ; si les remblais étaient mis à l'abri des eaux pluviales, les tassements n'auraient pas lieu, les gelées seraient sans action.

Or, l'un des avantages de l'emploi des bétons agglomérés, c'est justement de former à la superficie totale de la voie un dallage monolithe, imperméable, qui, rejetant les eaux de chaque côté et en dehors de la voie, mettrait ainsi le remblai complétement à l'abri des eaux pluviales et des gelées.

D'un autre côté, une surface de bétons, par son monolithisme et sa force de cohésion, demeurerait intacte sans fléchir, alors même que des tassements assez étendus se produiraient.

Le vice des bétons agglomérés se trouverait donc at-

ténué dans de grandes proportions; cela ne suffit pas, nous le reconnaissons : ce n'est pas assez d'atténuer, il faut supprimer les inconvénients d'une manière absolue.

Si la question nous paraît résolue pour les terrains en déblais, elle nous paraît insoluble pour les terrains en remblais; nous croyons qu'il serait impossible d'établir une surface rigide et immuable sur un terrain mobile, de telle sorte qu'à moins de trouver une autre solution, il faudrait renoncer aux surfaces de béton aggloméré pour les terrains en remblais tout en les conservant pour les terrains en déblais; mais peut-être trouverait-on cette solution en revenant au système des arcades continues, employées en Angleterre ou à l'ancien chemin de la Teste : et, en effet, dans cette donnée, on peut concevoir la possibilité de remplacer les remblais par une série continue de voûtes à plein cintre en béton aggloméré, dont la portée pourrait être uniformément admise à cinq mètres.

Si l'on adopte cette idée, on comprendra facilement que partout où on trouverait du sable à proximité, et attendu l'extrême solidité des maçonneries monolithes de béton aggloméré, ces arcades et leurs pieds-droits, pouvant avoir une faible épaisseur, pourraient être édifiées sans grande dépense.

En conséquence, supposons que la voie fût élevée à quatre mètres au-dessus du sol, chaque pied-droit aurait à supporter son propre poids et celui de l'arc, poids total qui, en admettant une hauteur de quatre mètres, une portée de cinq mètres, une largeur de voie de six mètres et une épaisseur des pieds-droits et de la voûte de trente-trois centimètres, donnerait un cube total de ma-

çonnerie d'environ vingt mètres de béton par arcade, c'est-à-dire un poids total d'environ cinquante mille kilos.

Or, si l'on se souvient que nous avons admis que la plus médiocre maçonnerie monolithe de bétons agglomérés offre une résistance à l'écrasement de plus de cent kilos par centimètre, on reconnaîtra qu'un pied-droit de béton de sable, qui aurait trente-trois centimètres d'épaisseur sur six mètres de longueur, offrirait une superficie de dix-neuf mille huit cents centimètres carrés, qui, multipliés par cent kilos, donnent une résistance totale à l'écrasement de un million neuf cent quatre-vingt mille kilos, force plus que suffisante, on en conviendra, pour supporter les cent mille kilos provenant du poids de la maçonnerie elle-même et de celle des convois.

Dans le cas où on ne trouverait pas de sable à proximité, ce qui est assez rare, on pourrait le remplacer par de la terre argileuse maigre, et au moyen de cette terre, que l'on traiterait aux lieu et place du sable, on obtiendrait un béton plus lent à prendre, il est vrai, moins résistant à l'écrasement, mais qui, néanmoins, offrirait une dureté plus grande que celle des calcaires de bonne qualité des environs de Paris et aussi grande que celle des bonnes briques.

Ce béton argileux formerait un pisé qui, au bout de fort peu de temps, ne craindrait rien ni de l'humidité ni des gelées.

Au moyen de ces arcades, les remblais seraient supprimés, les bords des chemins de fer ne seraient plus transformés en marais d'eaux croupies et stagnantes; il

n'y aurait plus de tassements à craindre, et la surface monolithe de béton aggloméré, ayant un appui rigide et immuable, pourrait être employée avec la même sécurité que sur les terrains solides en déblais.

L'emploi des arcades continues, remplaçant les remblais, pourrait rencontrer une objection sérieuse dans l'augmentation probable et dans une grande proportion de la dépense.

Nous osons dire que cette objection n'est pas fondée.

Et d'abord, pour évaluer les différences de prix de revient, il faudrait tenir compte, en faveur de l'emploi d'une surface de bétons aggloméres:

1° De la suppression du ballast qui, avec le béton, serait remplacé par une dalle continue, offrant une surface propre, nette, sans boue ni poussière;

2° De la suppression des traverses en bois, économie considérable en tant que dépense d'achat, et avantage précieux pour la conservation des forêts de l'État, qui ont peine à suffire à alimenter les chemins de fer;

3° De la suppression des coussinets et des clous qui les remplacent, économie très-considérable;

4° De la réduction considérable du poids des rails, que nous n'évaluons pas à moins d'un tiers du poids actuel;

5° De la suppression des frais d'entretien, importante économie, puisque, à chaque instant, il faut relever les traverses et les changer, tandis qu'une fois la voie de béton établie, ce serait fait à jamais, sans y avoir jamais rien à réparer;

6° De la suppression des chances d'accidents prove-

nant soit de l'incurie des cantonniers chargés de la réparation, soit des perturbations de niveau des rails provenant du tassement des remblais, de la décomposition des traverses en bois, ou de toute autre cause.

On conviendra que tant d'avantages compenseraient bien largement une différence de prix de revient, fût-elle même considérable.

Mais s'il existe une différence, elle serait en faveur du système d'arcades de béton aggloméré, substitué aux remblais en usage.

En effet, avec une bonne installation, de bonnes machines, de bons ouvriers, et alors même qu'il y aurait à payer une certaine subvention pendant quelques années, on peut obtenir des bétons suffisamment bons, soit au moyen du sable, soit au moyen de la terre argileuse maigre, pour un prix de revient qui ne dépasserait pas dix francs le mètre cube, et qui, si on en juge par des travaux faits en ce moment dans les environs de Clermont-Ferrand, dont le prix de revient ne dépasse pas sept francs, tomberait probablement beaucoup plus bas.

Mais admettons dix francs, et nous reconnaîtrons que chaque arcade ayant quatre mètres de hauteur, représentant vingt à vingt-cinq mètres cubes de maçonnerie, coûterait deux cents à deux cent cinquante francs, dont il faut déduire la différence du poids des rails, le prix des coussinets, des traverses et du ballast, qui sont supprimés, et enfin les frais d'entretien et de réparation.

Le système actuel des remblais n'est guère moins coûteux que celui des arcades; car les remblais ont des talus dont il faut ajouter le cube à celui de la voie même ; et si nous admettons un remblai de quatre

mètres de hauteur, nous voyons que le pied de ce remblai, avec une pente de quarante-cinq degrés, doit avoir quatorze mètres de largeur quand la voie à son sommet a six mètres, ce qui donne une épaisseur moyenne de dix mètres qui, multipliés par la hauteur de la voie, quatre mètres, et la longueur d'une arcade, cinq mètres, donne un cube total de deux cent mètres cubes de remblai par arcade.

Donc, dans ce cas, chaque longueur de cinq mètres coûterait :

Le prix de deux cents mètres cubes de remblai,
Les frais et l'embarras de l'entretien,
L'exagération du poids des rails,
Le coût du ballast,
Le prix des traverses en bois,
Le prix des coussinets,

Et enfin les frais de pose, beaucoup plus considérables avec le système actuel qu'avec le système que nous préconisons.

L'ensemble de ces économies prouve, nous le croyons, qu'un chemin de fer à surface rigide de bétons, bâti sur arcades, à tous les avantages spéciaux de durée, de solidité, de conservation du matériel, et de sécurité pour les voyageurs, joindrait une économie énorme qui justifierait nos affirmations.

Un sujet aussi important exigerait sans doute une démonstration plus étendue et plus complète ; mais ce travail sera fait plus tard, nous n'en doutons pas, par des hommes plus compétents que nous, et lorsque les bétons auront acquis dans l'art de construire la place qu'ils méritent.

Pendant que nous nous lançons dans le domaine de l'hypothèse (1), on nous permettra de dire que si l'on construit jamais des chemins de fer d'après le système que nous proposons, rien ne sera plus facile que de ménager entre les rails, ou dans les rebords extérieurs des bétons, des espaces vides continus formant tubes, lesquels pourraient servir à protéger les fils télégraphiques ou les fils de signaux, ou bien encore à amener, aussi loin qu'on le voudrait et sans frais, soit de l'eau, soit du gaz.

Tous ces avantages, joints à l'économie apportée dans la construction des chemins de fer, par l'emploi des bétons appliqués à la construction des gares, stations, ateliers, hangards, trottoirs, chaussées, murs, réservoirs, massifs de machines, ponts, ponceaux, viaducs, tunnels, et tant d'autres, font bien clairement voir que les bétons agglomérés sont appelés à jouer le plus grand rôle à l'avenir dans la construction des chemins de fer.

(1) Dans le cas où l'hypothèse que nous produisons paraîtrait trop audacieuse, l'idée de surfaces monolithes de béton aggloméré pourrait toujours recevoir de bien heureuses applications, soit dans les gares et à leurs arrivées, soit dans le parcours par les chemins de fer de contrées sablonneuses comme les Landes ou comme le désert de Suez.

BÉTONS A LA MER.

BÉTONS A LA MER.

Il nous reste encore à parler de l'application, sinon la plus importante, du moins l'une des plus remarquables ; nous voulons parler des constructions à la mer.

Il est bien connu de tout homme de l'art, que, dans l'état actuel des choses, les bétons et les mortiers à base de chaux, sauf en France la chaux du Theil, se dissolvent en peu de temps sous l'action de l'eau de mer et par le fait de la présence de sels magnésiens.

Il en est à peu près de même des mortiers et bétons à base de ciment.

On a cru pendant longtemps, et même jusqu'à ce jour, que les mortiers à base de chaux ou de ciment ne résistaient à l'eau de mer qu'en vertu d'une certaine force d'affinité chimique, capable de résister à l'action dissolvante des sels magnésiens, et provenant de la présence en excès dans les chaux et les ciments de certains silicates doubles de chaux et d'alumine.

C'est en vertu de cette opinion, formulée et préconisée par M. Vicat, dont la mort récente vient d'affliger la science, que l'on a cherché la résistance parfaite à la mer dans la production et dans l'emploi de chaux et de ciments artificiels, contenant de l'argile en grand excès, recherches qui, nous le croyons, n'ont pas été accompagnées d'un succès immuable et certain.

Pourtant, ce qui eût dû attirer l'attention des savants, c'est que les calcaires naturels compactes qui ne con-

tiennent que du carbonate de chaux, et pas un atome de silicate d'alumine et de chaux, résistent parfaitement et indéfiniment à la mer; tandis que des chaux renommées, des ciments de premier choix, trop souvent au grand désespoir des constructeurs et ingénieurs, ne résistent pas et se dissolvent plus ou moins rapidement.

De ce double fait il résulte évidemment que la résistance à l'eau de mer ne provient pas exclusivement de la composition chimique des chaux et des ciments; mais le fait vulgaire que nous venons de citer prouve qu'elle doit résider dans l'état cristallin marbreux des calcaires, quelle que soit leur composition chimique; tandis que tous calcaires, tous mortiers, tous bétons, fussent-ils gorgés de silicates d'alumine et de chaux, fussent-ils des chaux et des ciments de premier ordre, se dissoudront dans l'eau de mer, s'ils se présentent à l'état crayeux, s'ils sont légers, friables, poreux, absorbants, gélifs.

Or, presque toujours les procédés actuels donnent des mortiers et bétons dans ce dernier état: aussi presque toujours ces mortiers et bétons se dissolvent, parce que, sous le choc incessant de la lame et par l'effet de succion par le vide que produit la vague en se retirant, l'eau de mer pénètre d'abord par absorption, puis peu à peu elle se trace des issues, tant et si bien qu'à la longue, soit dissolution chimique par échange de base, soit simple dissolution de la chaux dans un excès d'eau, ces calcaires, mortiers ou bétons se délayent et disparaissent.

Les calcaires durs et compactes étant imperméables à l'eau, résistant à l'action de la lame, l'eau de mer

glisse sur leur surface sans les pénétrer : aussi se conservent-ils indéfiniment, donnant ainsi une espèce de démenti au rôle chimique attribué à l'argile, au silicate double d'alumine et de chaux.

La force moléculaire, la forme cristalline qui permet aux calcaires naturels compactes de résister à l'eau de mer, est aussi la véritable cause qui permet aux bétons agglomérés de résister, qu'ils soient à base de chaux ou à base de ciments.

En effet, au lieu, comme les mortiers et bétons ordinaires, d'être à l'état crayeux, c'est-à-dire légers, poreux, absorbants, friables, gélifs, ils sont à l'état cristallin marbreux, c'est-à-dire denses, lourds, compactes, imperméables ; de telle sorte que, ainsi qu'il arrive pour les calcaires naturels compactes, ils ne sont point pénétrables à l'eau de mer, dont l'action chimique devient sans effet sur des calcaires aussi durs.

Cette théorie est si vraie, les résultats en sont si certains, la résistance des bétons à la mer est si bien proportionnée à leur densité, à leur imperméabilité, à la forme cristalline marbreuse que peuvent affecter les chaux et les ciments préparés et agglomérés d'après nos procédés, que toutes les chaux et tous les ciments sans aucune exception, même la chaux grasse de Meudon, même les ciments les plus communs, quand les mortiers et bétons sont bien préparés et bien agglomérés, résistent à l'action de l'eau de mer.

Ce fait a été démontré, mis hors de doute, par les essais que nous avons exécutés à Saint-Jean-de-Luz par ordre de S. M. l'Empereur.

Ces essais forment trois séries :

1° Bétons préparés et agglomérés depuis plusieurs mois avant d'être immergés;

2° Bétons préparés huit jours avant l'immersion;

3° Bétons agglomérés sur place à la marée basse, et immédiatement recouverts à la marée haute.

Ces séries ont été faites toutes les trois avec des bétons contenant :

Sable	7
Chaux	1
Ciment	0,25 ou 0,50.

Un grand nombre de spécimens ne contiennent pas de ciment.

Chaque série se compose de blocs ayant pour base des chaux et des ciments de toutes provenances. C'est ainsi que nous avons essayé des chaux grasses de Meudon, de la chaux d'Argenteuil et de Belleville, de la chaux artificielle de Bougival, de celle d'Échoisy, et enfin des chaux grasses de la localité, dites de Bidart, de Chasconéa, et des ciments de Pouilly, de Vassy, de Portland, d'Urugne et de Boulogne; tous les blocs préparés depuis plusieurs mois, et même ceux préparés seulement depuis quelques jours, tous, sans exception, même ceux à base de chaux de Meudon et de Bidart, ont résisté d'une manière complète à la mer; nous les avons visités deux ans et demi après l'immersion, aucun d'eux ne présentait la moindre trace de dissolution, alors même que certains, roulés par la mer et heurtés par les galets, avaient pris la forme arrondie.

De telle sorte que, quels que soient la chaux et le ciment employés, des bétons agglomérés résistent à la

mer, pourvu qu'un certain temps s'écoule entre la production et l'immersion.

Or, il est bien évident que, puisque toutes les chaux résistent, même les chaux grasses, cette résistance ne provient pas des affinités chimiques, mais qu'elle provient uniquement de ce que les bétons agglomérés reçoivent de l'agglomération et du mode de préparation une dureté cristalline et une imperméabilité qui leur permettent de résister à l'eau de mer, pour les mêmes raisons qui font que les calcaires naturels compactes résistent.

Cette résistance à la mer des bétons agglomérés à base de toutes chaux, a été corroborée par une expérience très-curieuse et très-concluante faite à l'École des ponts et chaussées.

Afin de juger les forces de résistance des bétons agglomérés à base de diverses chaux à l'écrasement et à l'arrachement, nous avons préparé six séries de menus blocs ayant chacune une chaux différente.

Ces menus blocs ont été arrachés, et après la rupture, les fragments en ont été immergés dans une solution énergique de sels magnésiens, auxquels peu de chaux ou de ciments avaient pu résister jusqu'alors.

Un fait singulier s'est produit : les parties arrachées, disloquées par la charge considérable du poids et le contact des pinces, rendues par conséquent friables, poreuses, pulvérulentes, se sont dissoutes dans ces eaux magnésiennes avec une extrême facilité ; mais les parties qui n'avaient pas été maculées et disloquées résistèrent, elles résistent encore toutes depuis plus de deux ans.

De notre côté, nous l'avons déjà dit, nous avons immergé de petits blocs dans des solutions concentrées de sulfates et chlorures magnésiens ; ces blocs, après plusieurs années d'immersion, étaient parfaitement intacts.

Donc, des bétons préparés d'avance sont insensibles à l'eau de mer, pourvu qu'ils aient été bien préparés et bien agglomérés.

Quant aux bétons de la troisième série, c'est-à-dire ceux qui ont été agglomérés sur place à la marée basse, et recouverts ensuite à la marée haute, des difficultés spéciales se sont présentées.

En effet, ces blocs, composés de :

Sable	7
Chaux	1
Ciment	» 1/2

ces blocs, disons-nous, ont dû être agglomérés dans un moule établi sur le sol découvert à la marée basse ; il a fallu évidemment opérer une agglomération rapide avant le retour de la marée.

Comme il s'écoule toujours un certain temps avant que la prise des bétons se prononce, nous avons dû laisser le moule en place afin que sa présence mît le béton à l'abri de l'action de la mer montante.

Mais le lendemain, moins de vingt-quatre heures après, nous enlevions le moule et laissions les pilots ainsi bâtis, pour ainsi dire en pleine eau, exposés à toute l'action physique et chimique de la mer.

Or, sur sept pilots, quatre ont résisté d'une manière absolue : tempêtes, gelées, action chimique de la mer,

tout a été vain ; ces blocs ont aujourd'hui la dureté de la roche dont ils ont l'aspect, et les algues et les coquillages y ont élu domicile, signe de durée considéré comme certain.

Un de ces pilots a eu un commencement de délayage plutôt que de dissolution, car le mal s'est arrêté de lui-même, et désormais la résistance a pris le dessus.

Deux pilots enfin ont mis deux ans et demi à se dissoudre.

Mais il est un fait à remarquer, c'est que les blocs qui se sont altérés et dissous ont donné immédiatement des signes de détérioration; il n'y avait pas une semaine qu'ils étaient immergés que les angles étaient ramollis et en dissolution.

Or, ces blocs altérés avaient pour base la chaux grasse, qui, cela est connu, a une prise moins prompte et moins énergique que la chaux hydraulique, si tant est qu'elle ait une prise. Or, comme ces blocs à base de chaux grasse n'avaient qu'un seizième de ciment, c'est-à-dire pas plus que la bonne chaux hydraulique, il en est résulté que la prise n'avait pu se produire assez avant le retour de la marée, et que le moule étant enlevé dans les vingt-quatre heures, ces bétons à base de chaux grasse étaient délayés plutôt que dissous par la mer.

Nous ne craignons pas d'affirmer que l'on eût obtenu une parfaite résistance, si le moule eût été laissé en place pendant plusieurs jours, ou bien si, au lieu d'employer un seizième de ciment, on en eût employé un huitième.

Quant aux quatre pilots résistants, trois avaient pour

base la chaux du Theil; le quatrième est à base de chaux artificielle de Bougival.

Le cinquième, qui au début avait donné un commencement d'altération, mais dont la décomposition s'est arrêtée spontanément, est à base de chaux d'Échoisy.

Des expériences que nous venons de signaler, il résulte que les procédés que nous avons mis en usage ont donné une solution complète du problème des constructions à la mer, puisque avec des chaux et des ciments de qualité inférieure, même avec de la chaux grasse, il a été possible d'obtenir des bétons agglomérés résistant déjà, d'une manière absolue, à la mer depuis plus de deux ans, et par le fait d'une simple exposition préalable à l'air de quelques jours.

Cette solution est d'autant plus complète que, si l'on emploie des chaux, des ciments et des sables d'une bonne qualité moyenne, et sans avoir besoin de recourir aux chaux et ciments hors ligne et seuls employés pourtant aujourd'hui par les procédés ordinaires, la rapidité de la prise et son intensité sont telles, que l'on peut obtenir, que l'on peut immerger les bétons agglomérés avec certitude de leur résistance trois ou quatre jours après leur confection, et que l'on peut bâtir au contact même de la mer, pourvu que le béton demeure protégé par le moule pendant vingt-quatre heures.

Cette rapidité de prise, comparée à celle des blocs de béton à base de chaux du Theil, qui exigent six mois d'exposition à l'air avant leur immersion, permet de concevoir la possibilité d'apporter une réforme profonde, une véritable révolution dans l'art de construire des travaux à la mer.

Les constructions à la mer se font au-dessus ou au-dessous du niveau de l'eau.

Pour construire au-dessous du niveau de la mer, l'on emploie aujourd'hui l'un des moyens suivants :

Ou l'on fait ces bétons du meilleur ciment possible, on l'introduit dans une espèce de récipient que l'on plonge fermé dans la mer, et que l'on ouvre quand il touche le fond solide; cet appareil a pour but d'empêcher l'eau de mer de délayer le béton au moment de sa chute, et en effet, il donne des résultats passables, mais néanmoins, soit au moment de l'immersion, soit au moment de l'ouverture du récipient, l'eau se précipite à l'intérieur et délaye toujours très-notablement le béton, ce qui nuit beaucoup à la dureté et à la durée de la maçonnerie ainsi faite.

Ou bien, quand il se trouve des carrières de pierres à proximité, on charge les pierres sur des alléges flottantes, et on les précipite ensuite dans la mer jusqu'à ce que, à force d'en immerger, et par l'action des vagues, on obtienne au fond de la mer un talus à base extrêmement large, dont le sommet finit par s'élever au-dessus du niveau de la mer; c'est ensuite sur ce talus, dont les matériaux sont jetés pêle-mêle, sans symétrie, sans jointoyages, dont les matériaux désunis sont pour ainsi dire mobiles, n'ayant pour résister à la mer que leur pesanteur spécifique, que l'on bâtit hors de l'eau des maçonneries plus solides, plus soignées, qui forment alors les quais, les digues, les jetées.

Ce mode de construction, qui est celui que l'on a employé dans l'édification de la digue de Cherbourg, et qui est le plus généralement adopté, a pour in-

convénient d'entraîner des dépenses exorbitantes, car ce sont des montagnes entières qu'il s'agit d'arracher de leur base, de transporter et de jeter dans la mer, ce qui exige une perte de temps prodigieuse ; il a fallu plus d'un demi-siècle pour bâtir la digue de Cherbourg, et encore, ce qui est plus grave, tant de soins, de dépenses, de travaux, de temps perdu, ne donnent finalement qu'une médiocre sécurité, car avec ces blocs irréguliers et désunis, il suffit d'une tempête plus violente que les autres, pour balayer les blocs immergés, emporter la digue tout entière, ou du moins pour en disperser en une heure ce qui a exigé le travail de plusieurs années.

Quand on n'a pas à proximité des enrochements de bonne qualité, depuis quelques années l'on a imaginé de confectionner des blocs factices en bétons ordinaires, que l'on coule dans des moules cubiques ; quand ce béton est suffisamment pris, on démonte les moules et on laisse ces blocs exposés à l'air jusqu'à ce qu'ils aient acquis assez de dureté pour pouvoir être transportés et jetés à la mer sans se briser.

Ce mode, on le conçoit, donnant des pierres de forme régulière, présente à première vue de très-grands avantages : aussi a-t-il séduit les hommes de l'art qui en ont fait des applications très en grand à Alger, à Rochefort et surtout à Marseille.

Malheureusement le résultat n'a pas toujours répondu aux espérances ; si les blocs ont été faits en ciments de Portland, qui seuls à peu près résistent à la mer, le prix de revient est tellement exagéré que souvent l'on recule devant l'énorme dépense.

Si, au contraire, ces blocs sont à base de chaux, il a

fallu d'abord reconnaître qu'en France particulièrement il n'y avait qu'une seule chaux qui résistât à la mer, celle du Theil, et encore il n'est pas bien sûr que le temps ne sévira pas sur elle à la longue comme sur les autres chaux.

Mais admettons que la chaux du Theil résiste et résistera, il n'en est pas moins vrai que pouvant seule être employée, le prix de revient des blocs faits par son emploi devient, selon les cas, aussi élevé que celui des blocs à base de ciment de Portland, à moins que la confection et l'immersion des blocs ne se fassent à proximité des carrières de chaux.

L'emploi de la chaux, même la meilleure, a surtout pour inconvénient d'exiger des mois entiers d'exposition à l'air avant que les blocs aient atteint la dureté nécessaire ; il en résulte que le moindre travail à la mer oblige à occuper des espaces immenses, qui ne se trouvent pas toujours facilement, à de grands frais de transport pour amener ces blocs au bord de la mer et pour les immerger, et à la réalisation d'un capital assez considérable pour couvrir une production d'au moins six mois.

A défaut d'un des trois moyens précédents, l'on emploie à Douvres un système qui se rapproche davantage de celui que nous allons décrire.

A Douvres on fait des blocs de ciment de Portland que l'on approche au moyen de chemins de fer établis sur la digue même et au fur et à mesure de son avancement dans la mer, et que l'on immerge avec une certaine symétrie, au moyen d'un système de grues et de cabestans, en prenant le point d'appui sur la partie de la digue déjà faite,

et non plus comme d'usage au moyen d'alléges flottantes, d'où l'on précipite pêle-mêle les blocs.

Quant aux constructions au-dessus du niveau de la mer, elles se bâtissent ordinairement sur la base obtenue au-dessous de ce niveau au moyen d'enrochements, ainsi que nous venons de le dire, en maçonnerie ordinaire, bien soigneusement confectionnée, et jointoyée avec sollicitude, au moyen des meilleurs ciments.

Mais quels que soient les soins, la surveillance permanente apportée pendant la construction, l'intérieur de ces maçonneries contient toujours des vides; puis à la longue, sous l'action des gelées, de la chaleur, des retraits s'opèrent, les joints se désagrégent, et peu à peu, sous l'action de la lame qui, au moindre gros temps, se jette sur la maçonnerie, l'eau s'infiltre dans les joints, pénètre la maçonnerie, la traverse pour trouver une issue à la base.

Cette eau de mer, à la longue, ramollit, délaye, dissout le mortier, agrandit chaque jour les voies par où elle circule, et au bout de quelques années, le mortier est détruit, les pierres ne sont plus que juxtaposées, l'eau qui retombe sur le sommet s'écoule librement au pied, formant ainsi à chaque joint des espèces de fontaines jaillissantes, jusqu'à ce qu'une tempête, plus violente que les autres, renverse ces ouvrages si laborieusement élevés, et détruise en un instant ce qui a coûté des millions et des années de travail.

Par ces diverses raisons, par la difficulté de trouver de bonnes chaux, de bons ciments, et de les mettre en œuvre avec perfection, les travaux à la mer sont le désespoir, l'écueil des ingénieurs; nous allons voir que

l'emploi des bétons agglomérés remplacerait cette incertitude permanente, par la sécurité la plus complète, par une prodigieuse simplification et par une énorme réduction du temps et des dépenses ordinairement employées.

En principe, toute la partie des travaux établie au-dessous du niveau des eaux serait bâtie en blocs de bétons agglomérés, d'un cube assez considérable pour que la longueur du bloc, dans la plupart des cas ou du moins autant que possible, fût égale à l'épaisseur même de la digue, du quai à établir, et de forme assez régulière pour pouvoir s'asseoir à juxtaposition; d'un poids et d'une forme suffisants pour que la mer la plus violente ne pût exercer sur eux aucune action de déplacement.

Quant à la partie hors de l'eau, elle serait construite sur la partie inférieure composée de ces gros cubes de béton aggloméré, en un seul bloc monolithe, continu, de béton aggloméré lui-même; bloc immense, d'un poids gigantesque qui, reposant sur les assises inférieures, les scellerait, par le poids, d'une telle manière que nul effort de la mer ne pourrait les ébranler.

Nous avons dit plus haut que la partie d'un travail à la mer qui doit être bâtie au-dessous du niveau de l'eau, serait composée de blocs considerables de béton aggloméré, dont la longueur, autant que possible, serait égale à l'épaisseur à donner au travail à accomplir.

Cela suppose que si l'on construit une digue, une jetée, devant avoir dix à douze mètres d'épaisseur à la base, les blocs de béton auront eux-mêmes dix à douze mètres de longueur; dans ce cas, leur largeur pourra

être de trois à quatre mètres, et leur hauteur de deux mètres.

Un bloc de ce genre aurait la forme d'un parallélipipède, dont la plus petite surface serait dirigée vers la mer, afin que la longueur du bloc formât un obstacle invincible au déplacement.

Il va sans dire que la face de ce cube allongé, qui se présenterait à la mer, aurait la courbe la mieux calculée pour annuler le plus possible l'action de la lame.

Un parallélipipède de ce genre, ayant dix mètres de longueur, trois mètres de largeur, deux mètres de hauteur, représenterait donc un cube de soixante mètres, d'un poids spécifique total de cent quarante-quatre mille kilos, puisque le mètre cube de béton pèse deux mille quatre cents kilos.

Admettons, pour le moment, que l'on possède les moyens de mouvoir un bloc aussi énorme, et de l'immerger facilement, et reconnaissons qu'un bloc en forme de parallélipipède, qui présenterait à la mer sa face la plus petite, c'est-à-dire trois mètres multipliés par deux, soit six mètres superficiels, aurait un poids bien plus que suffisant pour vaincre l'action de la mer la plus violente.

Ainsi, il est connu que le plus violent coup de mer ne produit pas de pression qui atteigne cinq mille kilogrammes par mètre superficiel; par conséquent un parallélipipède présentant à la mer une surface de six mètres, devrait résister à une pression de trente mille kilos.

Mais, comme un bloc de ce genre, de soixante mètres cubes, pèserait cent quarante-quatre mille kilos, d'où il

faudrait déduire soixante mille kilos pour le déplacement de l'eau, le bloc pourrait encore opposer aux trente mille kilos de pression possible de la mer un excédant de quatre-vingt-quatre mille kilos, soit cinquante mille kilos de plus qu'il ne serait nécessaire, excédant auquel, nous allons le voir, viendrait s'ajouter la pression de la partie monolithe supérieure.

Donc, comme point de départ, et en supposant la possibilité de mouvoir de pareils blocs, il est incontestable que d'aussi grandes masses, grâce à leur forme de cubes allongés, donneraient aux digues à la mer une solidité inconnue jusqu'à ce jour.

Mais de telles masses pourraient-elles être confectionnées, et surtout pourraient-elles être déplacées?

Non, répondrons-nous sans hésiter, si l'on employait les moyens ordinaires de confection et d'immersion; non, s'il fallait faire six mois à l'avance des blocs qu'il faudrait ensuite déplacer et transporter; non, s'il fallait les mettre sur des alléges.

Oui, croyons-nous, si l'on se servait des moyens que nous allons indiquer, et que l'on ne peut mettre en pratique que par l'emploi des bétons agglomérés.

D'ailleurs, la possibilité de mouvoir de pareils fardeaux a des antécédents qui la démontrent; ainsi n'a-t-on pas transporté à Paris l'obélisque de Luxor, colossal monolithe, de plus de cent mètres cubes, d'un poids de plus de deux cent cinquante mille kilos ?

Or, on a amené ce bloc de granit, de la carrière vers le bord du Nil, on l'a chargé sur un vaisseau, on l'a fait naviguer jusqu'à Paris, on l'a retiré sur la rive de la

Seine, on l'a transporté sur la place de la Concorde, et enfin on l'a élevé sur sa base.

Ce qui a pu être fait pour un poids de deux cent cinquante mille kilos indique qu'on peut le faire pour un poids beaucoup moindre, d'autant plus que l'immersion de blocs de bétons agglomérés de cent cinquante mille kilos, faite sans déplacement, serait d'une facilité extrême comparativement aux difficultés qu'a présentées le transport de l'obélisque.

Supposons donc qu'il s'agisse de construire une digue ou une jetée partant d'un point du rivage et s'avançant dans la mer.

Le premier travail à accomplir serait de faire sur le rivage une tête de digue en béton aggloméré, laquelle dans toute sa masse formerait un seul bloc, une masse monolithe, qui nécessairement représenterait un cube total de trois ou quatre cents mètres, pesant au moins un million de kilos.

Un tel bloc monolithe fournirait évidemment une assiette assez forte, un point d'appui assez résistant pour pouvoir y suspendre des poids de cent cinquante à deux cents mille kilogrammes.

Pour suspendre un poids de cent cinquante mille kilos à un bloc de un million de kilos, on aurait eu le soin, pendant la confection de la tête de digue monolithe, d'introduire dans le béton lui-même des tirants, des attaches en fer assez forts pour l'usage, qui se termineraient à la surface du bloc par un anneau ou un crochet, lesquels serviraient de point d'attache pour y suspendre les blocs à immerger.

Sur la tête de digue, on établirait deux chemins de

fer, dont un plus large serait destiné à faire mouvoir les engins nécessaires pour opérer l'immersion, et dont l'autre, plus étroit et établi entre les rails de la voie plus large, serait destiné à supporter les moules dans lesquels le béton serait aggloméré, et à permettre de faire mouvoir ces moules et les blocs qu'ils pourraient contenir, afin de les approcher le plus possible du point d'immersion.

Sur la voie la plus large serait montée une grue de vaste dimension, dont les bras en tôle rivée et entretoisée d'une manière analogue à celle usitée depuis peu pour les ponts de fer américains, s'avanceraient à vide de six ou huit mètres au-dessus de la mer, de manière à pouvoir suspendre dans le vide des blocs d'un grand volume et d'un grand poids.

Cette grue, dont la construction n'offrirait aucune difficulté particulière au point de vue mécanique, reposerait sur des galets qui rouleraient sur les rails de la voie large, et pour résister à l'impulsion de bascule qui résulterait de la suspension d'un bloc de cent cinquante mille kilos, cette grue serait fixée par la partie inférieure aux anneaux et tirants en fer réservés dans la masse de la tête de digue, et dont nous avons déjà parlé.

Sur la voie intérieure, plus étroite, seraient établis un ou plusieurs moules, dont la capacité aurait la forme et la dimension que l'on voudrait donner au bloc.

Dans ces moules serait aggloméré de bon béton obtenu même par l'emploi de chaux hydraulique vulgaire et de moyenne qualité.

Pendant la confection de ces blocs, on introduirait

dans leur masse des tirants en fer se terminant à la partie supérieure du bloc en forme de crochet ou d'anneau; ces armatures en fer, au nombre de quatre, placées vers chaque coin, seraient assez fortes pour pouvoir supporter le poids du bloc lors de l'immersion.

Cette introduction du fer dans la maçonnerie de béton aggloméré n'aurait aucun des inconvénients qu'il présente lorsqu'on l'emploie à la mer dans la maçonnerie ordinaire, laquelle, étant toujours perméable, laisse l'eau de mer pénétrer à peu près librement jusqu'au fer qu'elle oxyde; par cette oxydation, ce fer augmente de volume, il presse peu à peu sur la maçonnerie, jusqu'à ce qu'il la brise et produise ainsi des désordres souvent irréparables; dans du béton imperméable, dur comme la meilleure pierre, dans lequel il serait hermétiquement enfermé, comprimé, l'eau de mer ne pourrait pas arriver vers les parties enfermées, ou si au début il y avait un commencement d'oxydation, l'oxyde produit, énergiquement comprimé par le béton et au contact de la chaux, formerait un enduit protecteur, imperméable, qui empêcherait l'oxydation de se propager; c'est ce qui arrive même actuellement quand des ferrures sont soigneusement scellées dans la pierre.

Aussitôt qu'un moule serait plein, on le démonterait pour laisser le béton se durcir plus promptement à l'air.

Après trois ou quatre jours d'exposition à l'air, le béton serait assez dur pour pouvoir être immergé, et pour être transporté sans risquer d'être rompu.

Dans le cas où l'on travaillerait en plein hiver, ou bien si l'on voulait immerger dans les quarante-huit

heures, de même que pour les chaussées, on pourrait élever la température du béton, et dans ce cas la prise serait rendue si rapide et si intense, qu'en quarante-huit heures du béton de chaux serait aussi dur que du béton aggloméré fait à froid au bout de quinze jours.

Quoi qu'il en soit, fait à chaud ou à froid, lorsque le bloc serait assez dur, on le saisirait au moyen de câbles ou chaînes par les tirants en fer introduits dans la masse pendant la confection, et on le tiendrait soulevé dans le vide, soit par l'action directe de cabestans agissant au moyen de la grue dont nous avons parlé, soit en abaissant sous le bloc, au moyen de vis, un plancher mobile qui, en s'abaissant, le laisserait suspendu aux câbles de la grue.

Une fois suspendu, et au moyen d'un chariot à galets roulant sur des plates-bandes réservées à la partie supérieure de la grue, on ferait avancer ce bloc jusqu'à la partie de la grue portant en bascule à vide au-dessus de la mer.

Alors, quelque temps qu'il fasse, que la mer soit ou non agitée, et à moins de tempête furieuse, on laisserait descendre le bloc jusqu'au fond de la mer, dont le nivelage, à la rigueur, aurait été préparé d'avance, ainsi que l'on fait dans les travaux ordinaires.

Sur ce premier bloc, et de la même manière, on en mettrait un second, un troisième, en un mot, autant qu'il en faudrait pour que le dernier surgît à une certaine hauteur au-dessus du niveau des basses eaux.

L'ensemble de ces blocs superposés présenterait à la mer les courbes calculées et exécutées par le moulage, comme devant le mieux résister à l'impulsion de la lame.

Aussitôt que le dernier bloc s'élèverait hors de l'eau, on y établirait un moule qui se raccorderait avec la tête de digue monolithe, et dans ce moule et sur place on agglomérerait du béton qui, par soudure naturelle ou au moyen de rainures en queue d'aronde, ferait corps avec la partie monolithe déjà faite, de manière à la prolonger en s'appuyant sur les blocs déjà immergés.

Dans cet appendice à la partie monolithe, lequel serait fait au moyen de béton échauffé afin d'activer la prise, on introduirait, comme on l'aurait déjà fait dans la tête de digue, des crampons en fer pour y attacher les grues et les cabestans.

Sur cette partie nouvelle, formant prolongement du monolithe, on prolongerait aussi le chemin de fer supportant les moules et la grue, et alors on recommencerait à immerger de nouveaux blocs, de manière à former une nouvelle assise s'élevant encore au-dessus du niveau des basses eaux, et sur laquelle on opérerait un prolongement nouveau de la partie supérieure monolithe, supportant de nouveaux crampons et de nouveaux rails, et l'on continuerait ainsi en avançant dans la mer, jusqu'à terminaison de travail, en immergeant de nouveaux blocs au fond de la mer, en la saisissant à la partie supérieure par le prolongement de la partie monolithe, sur laquelle s'allongerait au fur et à mesure des besoins les railways nécessaires au mouvement de la grue et des blocs.

Par ce moyen, un travail en mer pourrait être exécuté en fort peu de temps, et il pourrait être prolongé aussi loin qu'on le désirerait.

Quant à la résistance qu'il offrirait, il convient de

rappeler qu'un monolithe de dix mètres de longueur, de trois mètres de largeur, deux mètres de hauteur, offrant à la mer une surface de six mètres carrés, donne une résistance en sus du poids équilibré par le déplacement de l'eau, de quatre-vingt-quatre mille kilos, ce qui, pour une surface de six mètres, donne pour chaque mètre une résistance de quatorze mille kilos, soit huit à neuf mille kilos de plus qu'il ne faudrait pour vaincre les plus fortes pressions qui aient été observées (quatre mille à cinq mille kilos par mètre superficiel), pression qui ne se présente que dans les plus furieuses tempêtes.

On conçoit donc qu'une digue bâtie au moyen de blocs de ce genre, ayant justement pour longueur l'épaisseur de la digue à bâtir, chacun de ces blocs présentant un excédant de poids presque triple de la force à vaincre, aurait une assiette assez solide pour n'avoir pas besoin d'être augmentée, et pourtant la résistance de cette digue serait encore énormément accrue de tout ce qui y ajouterait le monolithisme de la partie supérieure, élevée hors du niveau des basses eaux et reposant sur les blocs immergés.

Pour bien comprendre l'excédant de puissance ajoutée par l'introduction du monolithisme de la partie supérieure, il ne faut point oublier que chaque centimètre de bon béton offre une résistance à l'arrachement de dix à vingt kilos par centimètre carré.

Donc, si nous supposons que la partie supérieure monolithe s'élève de dix mètres au-dessus du niveau des basses eaux, et qu'elle ait huit mètres d'épaisseur, nous trouvons une section de quatre-vingts mètres super-

ficiels, donnant une résistance totale à l'arrachement de huit millions de kilos, toujours présente sur tous les points de la digue.

A la résistance à l'arrachement il convient encore d'ajouter le poids spécifique de la partie supérieure de la digue, poids énorme qu'il faut ajouter tout entier à la force de résistance des blocs immergés.

Nous avons vu que chacun de ces blocs doit avoir dix mètres de long, trois mètres de large sur deux mètres de hauteur.

Chacun de ces blocs, en sus du poids de l'eau déplacée, présente un excédant de quatre-vingt-quatre mille kilos.

S'il y a huit blocs immergés, le bloc de première assise sera donc fixé par son propre excédant de poids, auquel il faut ajouter le poids des blocs supérieurs.

De telle sorte que, s'il y en a huit, le bloc inférieur sera fixé par un poids provenant des autres blocs immergés, de six cent soixante-douze mille kilos.

Auquel il faudra ajouter le poids spécifique de la partie supérieure de la digue, qui étant de dix mètres de hauteur sur huit mètres d'épaisseur, multiplié par la largeur du bloc, soit trois mètres, donne un cube total de deux cent quarante mètres qui, multipliés par le poids de chaque mètre de béton aggloméré, soit deux mille quatre cents kilos, donne un poids total de cinq cent soixante-seize mille kilos.

Total pour trois mètres, un million deux cent quarante-huit mille kilos.

Soit, par chaque mètre courant, quatre cent douze

mille kilos pour résister aux cinq mille kilos de pression évaluée avec exagération que présente la mer la plus violente.

Résistance prodigieuse, à laquelle il faut pourtant ajouter encore celle qui provient de la résistance à l'arrachement de la partie monolithe supérieure, et que nous avons évaluée à huit millions de kilos.

Cette force gigantesque de résistance à la poussée. que nous avons déjà mentionnée à propos des barrages, doit nécessairement modifier les dimensions que l'on donne ordinairement aux digues à la mer, lesquelles sont faites en menus matériaux, dont le poids, par rapport à la surface, ne permettrait à aucun d'eux, s'ils étaient isolés, de résister à la pression de la mer.

Des digues en bétons agglomérés, dont la partie immergée serait composée de blocs énormes, présentant un excédant de poids bien supérieur à la pression de la mer, et dont la partie supérieure formerait un monolithe d'une résistance énorme à l'arrachement, à la rupture, ces digues de béton pourraient avoir une épaisseur bien moindre que les digues ordinaires, et surtout, et c'est là l'important, elles pourraient être bâties directement au fond de la mer sans aucun enrochement.

En effet, en même temps que la force de résistance d'une digue en béton est de beaucoup supérieure à l'action de la mer, cette action se trouve moindre pour une digue de ce genre que pour une digue ordinaire.

Avec une digue de menus matériaux on peut supposer que par manque d'homogénéité l'équilibre peut être rompu, et que le poids de l'eau peut exercer une pression plus grande, abstraction faite de la force d'impul-

sion, d'un côté que de l'autre, tandis qu'avec des blocs de béton parfaitement équilibrés et homogènes, l'eau pèse également sur toute la face, se fait équilibre à elle-même, de telle sorte que la digue n'a réellement à vaincre que la force d'impulsion.

Or, cette force ne dépassant jamais cinq mille kilos par mètre, on conçoit que quelle que soit la force du levier, elle ne pourra vaincre des résistances aussi prodigieuses que celles que nous venons d'énumérer, d'autant plus que cette force d'impulsion de la mer, on le sait, ne règne qu'à la surface et qu'elle cesse d'exister à quelques mètres de profondeur.

Étant admises les résistances dont nous venons de parler, quelle épaisseur faudrait-il attribuer à une digue pour une profondeur donnée? C'est un calcul à faire par des hommes plus compétents que nous; mais ce que nous pouvons affirmer, c'est que les résistances que nous avons indiquées peuvent réellement exister, par conséquent que l'épaisseur des digues peut être très-considérablement réduite.

Les avantages de ce nouveau système de construction à la mer seraient aussi importants que nombreux et incontestables; ils peuvent se résumer ainsi :

1° Durée et conservation des travaux à la mer sans comparaison avec les moyens ordinaires;

2° Emploi de tous les matériaux;

3° Simplicité de travail, réduction énorme de la mise en train;

4° Travail en tous temps et en toute saison;

5° Suppression des enrochements;

6° Réduction des épaisseurs;

7° Économie prodigieuse sur le prix de revient.

La durée et la conservation proviendraient de ce que l'agglomération et la bonne préparation des bétons donnent aux chaux la cristallisation des calcaires durs, état cristallin qui suffit à lui seul pour vaincre la très-faible action chimique de la mer, et qui rend ces bétons eux-mêmes complétement imperméables, de telle sorte qu'au lieu d'être incessamment traversés, comme le béton ordinaire, par l'eau de mer, cette eau de mer glisse sur eux sans même les humecter.

Elles proviendraient encore de ce que les travaux à la mer en bétons agglomérés seraient bâtis en blocs considérables, dont le poids serait toujours de beaucoup supérieur à celui de la force d'impulsion de la mer, et dont la forme donnée par le moulage serait toujours celle reconnue la meilleure par la science, tandis que les travaux à la mer construits par les procédés ordinaires, même ceux de pierres de taille, sont toujours composés de petits matériaux, d'un poids spécifique insuffisant, ce qui fait qu'à la longue, lorsque la mer ou les intempéries ont détruit les joints, elles s'ébranlent peu à peu jusqu'à ce qu'assaillies plus violemment par la mer, elles soient entraînées.

L'agglomération et la bonne préparation donnant aux chaux et aux ciments les plus vulgaires la prise cristalline des calcaires durs, il en résulterait l'immense avantage de pouvoir employer avec succès, avec certitude à la mer, toutes les chaux et ciments les plus voisins du travail à construire, tandis qu'aujourd'hui, il faut aller au loin et à grands frais chercher les chaux ou ciments les

plus renommés, pour ne faire le plus souvent, par leur emploi, que des travaux incapables de résister longtemps à la mer.

D'un autre côté, la prise rapide des bétons agglomérés permettant l'immersion au bout de quelques jours, il en résulte qu'il suffirait de préparer à l'avance et au plus une douzaine de blocs, dont le petit nombre permettrait la préparation sur la digue même en construction, sans avoir besoin d'autre atelier, tandis que par les procédés ordinaires, il faut préparer les blocs six mois à l'avance, par conséquent encombrer des chantiers immenses que l'on n'a pas toujours à sa disposition, et qui obligent à établir des voies ferrées nombreuses pour amener ces blocs au bord de la mer, et exigent des moyens de transport coûteux et difficiles pour opérer l'immersion.

Toutes ces difficultés seraient supprimées par les bétons agglomérés construits en très-petit nombre sur la digue même; ils seraient immergés au moyen de grues, de cabestans établis aussi sur la digue, et cette immersion, sauf les cas de tempête, pourrait se faire en tout temps : le point d'attache du bloc à immerger étant fixé au sol, une grosse mer ne pourrait empêcher ni même gêner l'immersion, tandis qu'avec les moyens ordinaires il est très-difficile de charger des alléges, plus difficile de les décharger, et encore pour faire cette opération faut-il choisir le beau temps, car non-seulement la tempête, mais même la moindre brise un peu vive empêche le service des alléges.

Non-seulement on pourrait immerger en tout temps, mais encore, avec les bétons agglomérés, on pourrait bâtir en toute saison, à toute température, même avec le froid le plus vif.

Il suffirait pour cela d'élever la température des bétons, et alors la prise serait si prompte qu'en vingt-quatre heures la maçonnerie serait mise à l'abri des plus rudes gelées ; la seule précaution à prendre serait ou de laisser les blocs dans leur moule pendant vingt-quatre heures, ou de les couvrir de toile goudronnée, après quoi ils pourraient être exposés à l'air sans crainte.

La résistance présentée par ce genre de construction, dont chaque bloc offrirait à l'action de la mer un poids double ou triple de celui qui serait nécessaire pour vaincre la force d'impulsion, poids augmenté, décuplé, centuplé peut-être par le poids de la partie supérieure monolithe et par sa résistance à l'arrachement, serait si grande, surtout en donnant les courbes les plus favorables, qu'en toute sécurité il serait possible de bâtir en pleine mer et de supprimer complétement les enrochements, sauf peut-être ce qui serait nécessaire pour prévenir les affouillements du sable.

Or, en même temps qu'il permettrait de supprimer les enrochements, cet excès de résistance permettrait même, en outre, de réduire les épaisseurs qu'on est obligé de donner aujourd'hui.

Ainsi, par exemple, la digue du Socoa, à Saint-Jean de-Luz, que nous avons pu examiner à loisir, a vingt-cinq mètres d'épaisseur ; elle a été bâtie avec une sollicitude et un soin admirables ; elle repose sur des rochers inébranlables; sa forme a des courbes parfaites, et pourtant, de même qu'elle a été déjà plusieurs fois renversée, tôt ou tard elle le sera encore, car la mer a déjà dissous le mortier à l'intérieur, tous les joints inférieurs, lorsqu'une lame passe sur la digue et qu'elle

s'est retirée, forment autant de fontaines jaillissantes, alimentées par les eaux de la lame qui se sont infiltrées dans l'intérieur de la digue.

Les pierres de cette digue ne tiennent donc plus par le mortier ; elles ne sont plus qu'ajustées tant bien que mal par leur propre poids, et il y a lieu de craindre que, dans un jour de ces effroyables tempêtes, si terribles dans ces contrées, quelques pierres seront ébranlées, puis arrachées, et une fois la brèche ouverte, la digue elle-même sera emportée.

Construite en blocs de béton aggloméré de cinquante à soixante mètres cubes, comprimés et fixés par le monolithe supérieur, cette digue, au lieu d'exiger vingt-cinq mètres d'épaisseur, en trouverait une en dix mètres plus que suffisante; de même qu'ailleurs et pour de plus grandes profondeurs il ne serait pas nécessaire de dépasser quinze mètres à la base, tandis qu'au sommet cinq ou six mètres répondraient à toutes les nécessités.

Enfin, par la possibilité d'employer toutes les chaux hydrauliques, tous les ciments du littoral, chaux et ciments bien moins coûteux que ceux que l'on fait venir des contrées éloignées, par la réduction des quantités employées, qui, ainsi que nous le savons, ne s'élèvent qu'à des doses deux ou trois fois moindres que dans les procédés ordinaires, par la faculté de se servir de tous sables fournis à pied-d'œuvre sur le rivage par la mer elle-même, par la simplification de la mise en œuvre, par l'absence de transports, par l'inutilité d'un capital considérable nécessaire pour faire des blocs six mois d'avance, par la faculté de travailler en toute saison et en tout temps, par la suppression des enro-

chements, par la réduction des épaisseurs, et enfin par la rapidité du travail que l'on peut, sans exagération, porter à cent mètres cubes par jour et sans interruption, on peut affirmer que le prix d'un travail à la mer coûterait deux ou trois fois moins qu'il ne coûterait par les procédés ordinaires, tout en étant dix fois plus solide peut-être.

Ainsi, tel travail qui a coûté quatre-vingts millions aurait pu être fait pour trente, et surtout aurait exigé moins de temps, de fatigues, et fait courir moins de dangers.

Tout dépend d'une seule question : les bétons agglomérés résistent-ils à la mer? S'ils n'y résistent pas, rien de ce que nous avons dit n'a de valeur en ce qui concerne les matériaux de basse qualité, tout en la conservant entière pour les bétons qui seraient faits en matériaux de premier choix.

Mais s'ils y résistent, comme il y a lieu de le croire, par suite des diverses expériences que nous avons signalées, et par l'évidence du principe de l'agglomération donnant l'imperméabilité et la prise cristalline, dans ce cas, la solution du problème des constructions à la mer serait trouvée, problème qui, aujourd'hui, est encore à résoudre, puisque les ingénieurs sont encore réduits à ne se servir que d'un très-petit nombre de matériaux de premier choix, et à n'employer dans leurs travaux que des pierres d'un faible volume.

CONCLUSION.

CONCLUSION.

Après ce qui vient d'être dit des nombreuses applications qui peuvent être faites des bétons agglomérés, la nouveauté des procédés, l'étrangeté audacieuse des résultats énoncés, laisseraient sans doute le lecteur, surtout s'il est homme de l'art, sous l'impression de la méfiance et de l'incrédulité, surtout s'il les compare avec ceux que l'on obtient par les procédés ordinaires, avec lesquels tout en employant les meilleurs sables, les meilleures chaux, les ciments les plus énergiques, tout en exagérant les proportions de chaux et de ciment, on n'obtient que du béton léger, friable, poreux, gélif, absorbant, plein de retraits et de fissures, par conséquent incapable d'être employé à la construction de maçonneries exposées à l'air et aux intempéries; tandis que par nos procédés, avec tous les sables, toutes les chaux, tous les ciments, et tout en réduisant de moitié ou des trois quarts la quantité de chaux et de ciments employés, on obtient de la pâte de pierre, c'est-à-dire des bétons lourds, compactes, imperméables, insensibles aux intempéries, sans aucuns retraits ni fissures.

On ne pourrait, disons-nous, admettre la possibilité de tant de hardiesses, de tant de conséquences de la plus haute importance pour l'art de bâtir, si importantes, que nous avons osé dire qu'elles étaient la révolution, si nous nous contentions, nos essais en petite échelle étant terminés, d'affirmer sans preuve, par prévision, par un simple travail spéculatif de l'imagination.

Mais nos preuves ne sont pas le fruit de l'imagination, elles sont des fait accomplis; il n'y a pas une des applications que nous avons signalée qui n'ait été réalisée en grand; et quand nous affirmons les propriétés remarquables des bétons agglomérés, quand nous osons nous lancer dans des hardiesses extravagantes en apparence, loin d'imaginer, nous ne faisons que constater une démonstration faite par la pratique, de telle sorte qu'après avoir rempli un volume de choses tellement audacieuses que l'on pourrait nous taxer d'outrecuidance et d'ignorance, il n'est pas une de ces choses qui n'ait été exécutée.

C'est ainsi qu'avec de la chaux grasse de Meudon, nous avons bâti une maison d'habitation ayant trois cents mètres superficiels et trois étages, un mur de soubassement immense supportant une pression de sept mètres de terre, tout en n'ayant que la moitié de l'épaisseur ordinaire, une vaste manufacture dont les murs ont quelquefois jusqu'à vingt mètres de hauteur.

C'est ainsi que nous avons fait à la station de Suresnes et à Saint-Denis des maisons entières en bétons agglomérés, caves, murs, escaliers, dont les planchers, et les toitures en forme de dôme sont également en bétons agglomérés.

Ailleurs, nous avons fait, comme toitures, des terrasses immenses, ayant jusqu'à trois cents mètres superficiels, dont l'une, entre autres, couvre sans autre appui que les murs de pourtour une salle qui a vingt-deux mètres de longueur sur sept mètres de largeur, et ces terrasses depuis cinq ans servent d'ateliers en plein air et bravent les intempéries.

Nous avons fait des milliers de mètres de trottoirs et de chaussées, des dallages d'écurie ou d'ateliers qui, depuis des années, supportent les plus rudes attaques, le frottement continu des pelles en fer sans être usés d'un millimètre en cinq ans et plus.

Nous avons construit des citernes, des réservoirs, des puits; nous avons fait des égouts et fosses d'aisances pour la ville de Paris, et tous sont imperméables et résistent à toutes les atteintes.

Pour la manufacture des tabacs à Châteauroux, pour la capsulerie de la guerre, pour nous-même et pour d'autres, nous avons fait des massifs monolithes pour fixer les machines à vapeur; à Oyssel notamment, nous avons fait un massif pour une machine de quatre cents chevaux.

A l'École des ponts et chaussées, dans sa succursale du quai de Billy, nous avons construit un arc de pont ayant quinze mètres de portée, et au dixième de flèche, ainsi qu'un réservoir n'ayant qu'une épaisseur de trente-sept centimètres à la paroi, ce qui ne l'empêche pas de supporter une charge d'eau de cinq mètres.

Au chemin de fer de l'Ouest, nous avons construit des égouts, des dallages, des murs de soutenement, des massifs de grue et des plaques tournantes.

A Saint-Jean-de-Luz, par ordre de S. M. l'Empereur, nous avons fait des blocs qui, immergés depuis bientôt trois ans, loin de donner la moindre trace de détérioration, ont acquis l'aspect et la dureté du roc le plus dur et le plus compacte.

Nos affirmations, quelque hardies qu'elles puissent paraître, n'ont donc rien qui ne soit expérimenté, exé-

cuté, prouvé par les faits accomplis; nous avons donc le droit de faire appel à l'attention des hommes de l'art et du public, et de demander l'examen d'un procédé qui, nous persistons à le dire, est une véritable révolution dans l'art de construire.

Mais il ne suffit pas d'avoir, au prix de grands sacrifices, démontré la loi complémentaire de la prise des bétons, d'avoir exploré en son entier tout l'ensemble d'un procédé nouveau, d'avoir créé, en un mot, une branche entière et nouvelle de l'art de bâtir, il s'agit maintenant de faire passer cet art dans la pratique, et de réaliser en grand toutes les applications que nous avons signalées.

Et après toutes les difficultés techniques qu'il nous a fallu vaincre, il nous reste une difficulté plus grande encore peut-être, celle d'organiser les moyens industriels et financiers d'obtenir une réalisation générale pratique de nos procédés; pour arriver à ce résultat, non-seulement nous avons à vaincre la routine du vulgaire, la méfiance des uns, la jalousie, le dédain, l'indifférence des autres, mais encore il nous faut trouver le concours des hommes de l'art et des capitaux, deux obstacles aussi difficiles à vaincre l'un que l'autre, d'autant plus qu'une exploitation générale et en grand de ces procédés exige un développement immense de moyens, soit par la variété et le nombre des applications, soit par l'étendue sans bornes des lieux à explorer.

Or, quel moyen employer pour opérer l'ensemble de l'exploitation et de la vulgarisation de ce procédé? Cet ensemble, les applications variées qu'il entraîne, la généralité de ses emplois qui embrassent tout l'art de bâtir,

interdisent la pensée d'une exploitation intégrale de ce système par un seul individu ou même par une seule société.

L'étendue de ce système est si vaste que l'on ne peut même songer à l'exploiter par un centre unique dans une contrée entière.

Ainsi jamais une société française ne pourrait songer à l'exploiter seule en France, jamais une société anglaise en Angleterre, quelque puissantes que fussent ces sociétés ; il leur serait impossible de se trouver à la fois sur tous les points de la France ou de l'Angleterre.

On ne peut donc concevoir l'exploitation complète de l'ensemble de ce procédé, et pour toutes les applications dont il est susceptible à l'infini, que par l'établissement d'un grand nombre de centres d'action individuels et de sociétés spéciales qui exploiteraient, soit une branche du procédé, soit une localité plus ou moins étendue.

Ainsi, en France, par exemple, on peut concevoir qu'à Paris notamment il peut y avoir une société :

Des égouts et fosses d'aisances du département de la Seine;

Une société des trottoirs, dallages et chaussées;

Une société des pierres artificielles, avec ou sans ornements;

Une société des rues souterraines et des grands travaux d'art du département de la Seine.

De même qu'un plus ou moins grand nombre de sociétés peuvent exploiter les constructions d'intérêt privé, et notamment construire les sous-sols étanches des maisons, les planchers, les terrasses, les voûtes, les murs

de soutenement, les massifs de machines, et tant d'autres emplois qu'il serait trop long d'énumérer;

D'autres peuvent s'organiser pour acheter des terrains nus, pour y bâtir ensuite des maisons en bétons agglomérés qui, coûtant beaucoup moins cher que par les procédés ordinaires, donneraient un revenu beaucoup plus considérable que d'usage, dont une partie serait employée à l'amortissement, de telle sorte qu'en quelques années la valeur des maisons étant amortie, la société deviendrait propriétaire; ce genre de sociétés immobilières nous paraît appelé à un grand avenir.

Hors de Paris et pour la France entière, on peut concevoir :

Une société générale des grands ponts de France qui, par le fait même de son développement, aurait en sa possession des équipages complets de machines, de cintres, de moules de piles et de parois, qu'une société puissante peut seule posséder;

Une société générale des silos et des docks, qui construirait dans toute la France et pour le compte des communes;

Une société des aqueducs et réservoirs de France, qui se chargerait d'entreprendre la fourniture des eaux pour les villes ou même pour les communes rurales;

Une société des chaussées de France, qui se chargerait soit de la confection des routes nouvelles, soit de recouvrir les routes anciennes de béton aggloméré;

Une société des travaux maritimes de France, qui se chargerait de faire tous bassins de radoub, toutes digues, jetées, tous phares, quais, ports, etc.

En outre de ces grandes sociétés générales, dans cha-

que département ou dans chaque groupe de départements, des sociétés pourraient être fondées qui se chargeraient de toutes les constructions privées, soit pour les villes, soit pour les campagnes.

D'un autre côté, des sociétés ou des particuliers pourraient soumissionner à grand rabais la construction des nouvelles lignes de chemins de fer.

Et enfin, on peut concevoir que comme la préparation et l'emploi des bétons agglomérés exigent des machines, des outils, des appareils spéciaux, tels que moules, pilons, broyeurs, locomobiles, etc., une entreprise très-importante pourrait être fondée, pour la fabrication spéciale de tous ces appareils propres à l'emploi des bétons agglomérés, et leur vente soit en France, soit à l'étranger; il est évident que cette dernière industrie, lorsque tout agriculteur, tout manufacturier, aurait son broyeur, comme il a sa charrue, lorsque les communes en auraient comme elles ont des pompes à incendie, lorsqu'il s'agira d'outiller toutes les sociétés de France et de l'étranger, trouverait, dans ce débouché immense, une source de bénéfices considérables.

L'emploi des bétons agglomérés doit donc donner naissance à des industries aussi importantes que variées et nombreuses, et encore une fois c'est à juste titre que, soit au point de vue de l'art de bâtir, soit au point de vue de l'industrie, nous avons dit que l'emploi des bétons agglomérés était une véritable révolution.

RAPPORT

FAIT

A SA MAJESTÉ L'EMPEREUR NAPOLÉON III

SUR L'EMPLOI A LA MER ET SUR TERRE

DES BÉTONS AGGLOMÉRÉS

A BASE DE CHAUX,

PAR FRANÇOIS COIGNET,

INGÉNIEUR CIVIL ET MANUFACTURIER.

SIRE,

Les ordres que j'ai reçus de Votre Majesté sont exécutés.

En plein hiver, malgré les intempéries, j'ai pu avec un succès complet confectionner, à Saint-Jean-de-Luz, des blocs de pierre factice composés de bétons agglomérés à base de chaux et destinés à être jetés à la mer.

J'ai construit sur la digue du Socoa, à Saint-Jean-de-Luz, trente-quatre blocs constituant trente-quatre essais différents, non pas des essais du procédé lui-même d'agglomération, qui n'est plus à l'état d'expérimentation, mais bien des applications de ce procédé d'agglomération à des chaux et des ciments divers.

Conformément aux instructions que j'avais reçues de Votre Majesté, les essais ont porté, non-seulement sur des chaux et ciments ayant déjà la réputation de résister à l'action dissolvante de l'eau de mer, tels que la chaux du Theil et le ciment de Portland, mais encore et surtout sur des chaux et ciments actuellement connus

pour ne pas résister à cette action, tels que les chaux d'Échoisy, de la Mancelière, la chaux factice de Bougival, les ciments de Vassy, de Pouilly, d'Urugne; ces essais ont même été étendus jusqu'à l'emploi des chaux grasses du pays.

Le but de ces essais a été de reconnaître si le principe de l'agglomération, appliqué à l'emploi des chaux et ciments, ne leur donnerait pas, ainsi qu'il est permis de le croire d'après les résultats obtenus par les travaux en bétons agglomérés déjà exécutés sur terre, un certain rapprochement de molécules, une cohésion, une affinité d'où résulterait, pour les bétons à base de chaux, une énergie, une rapidité de prise ressemblant fort à une espèce de cristallisation amorphe, allant quelquefois jusqu'à l'apparence d'une demi-vitrification; état nouveau, dû tout entier à l'agglomération, impossible à obtenir par les procédés ordinaires, qui permettrait peut-être aux bétons agglomérés à base de chaux, de résister à l'action dissolvante de l'eau de mer, non plus par suite de certaines compositions chimiques, mais simplement par un état moléculaire qui les rendrait résistants au même titre et de la même manière qu'il arrive pour les calcaires naturels compactes, lesquels résistent parfaitement, alors même qu'ils ne contiennent que du carbonate de chaux.

L'exécution des essais a réussi au gré de mes espérances; malgré la mauvaise saison, les blocs, sauf deux ou trois confectionnés avec une chaux du pays mal préparée, sont durs, compactes, imperméables; ils ont l'apparence de magnifiques granits, ils ne présentent aucune trace de fissures ou de dégradation; si donc, en cet état, ils ne résistent pas à la mer, il demeurera prouvé que la composition chimique des chaux et ciments est la seule condition de résistance à la mer, et que l'agglomération n'y ajoute rien.

Mais si, au contraire, ces bétons composés de chaux et ciments non résistants, par le fait seul de l'agglomération, devenaient résistants, il serait démontré que la résistance ne provient pas tant de telle ou telle composition chimique que d'un état de cohésion moléculaire particulier provenant de l'agglomération, de telle sorte que toutes les chaux, tous les ciments (bien préparés toutefois) devenant résistants par l'agglomération, pourraient être employés aux

travaux à la mer, tandis qu'aujourd'hui il n'existe en France qu'une seule chaux qui soit résistante, et deux ou trois ciments; auquel cas l'initiative des essais que je viens d'accomplir, prise par Votre Majesté, à l'aspect des travaux que j'avais déjà exécutés d'après ses ordres au bois de Vincennes, serait un bien grand service rendu par elle à l'art de construire des travaux à la mer. Service immense, puisque en cas de succès, au lieu, comme aujourd'hui, de faire venir à grands frais des points les plus éloignés des chaux et des ciments dont le succès n'accompagne pas constamment l'emploi, on trouverait presque toujours, sur les lieux mêmes de construction, des chaux et ciments auxquels l'agglomération donnerait la propriété de résister à la mer, et qui coûteraient infiniment moins que les rares chaux et ciments qui aujourd'hui, par les procédés ordinaires, ont le privilége de la résistance.

Service d'autant plus grand que, grâce au principe de l'agglomération, les quantités de chaux et ciments nécessaires pour obtenir le maximum de dureté possible sont réduites de moitié ou des deux tiers, d'où résulterait une économie très-considérable.

Quoi qu'il en soit, les essais sont accomplis, et le temps seul prononcera sur eux.

Mais je ne me suis point borné à confectionner des blocs sur le sol; enhardi par le succès, voyant ces blocs acquérir en quelques jours, *en quelques heures*, la dureté de la pierre, j'ai osé entreprendre d'agglomérer du béton à base de chaux en pleine mer, et j'ai complétement réussi.

Sur les pointes des rochers sur lesquels est construite la digue du Socoa, à Saint-Jean-de-Luz, rochers qui, à la marée basse, ne restent découverts que pendant une heure ou deux à peine, pour être recouverts à la marée haute de plusieurs mètres d'eau, j'ai établi dans les endroits les plus exposés à la violence de la mer, notamment en avant du musoir de la digue du Socoa, un moule dans lequel j'ai aggloméré du béton à base de chaux.

Ce moule, en minces planches de pin, ayant la forme d'un cône tronqué, et portant 1^{m}20 à sa base et 1^{m}00 de hauteur, était rempli, à la marée basse, de béton aggloméré à base de chaux, et vingt-quatre heures après, quoique ayant été presque constamment im-

mergés, ces petits blocs se trouvaient assez durcis pour que je pusse enlever le moule et les abandonner ensuite sans aucun moyen de garantie à l'action de la mer.

Plusieurs de ces blocs improvisés ont été construits dans les derniers jours de décembre 1858, et malgré l'action incessante des violentes marées de cette localité, malgré les tempêtes, malgré leur construction aux endroits les plus exposés à la lame, ils ont continué de durcir sous l'eau, et aujourd'hui ils sont absolument intacts, et comme s'ils sortaient du moule.

De telle sorte que, grâce à l'agglomération, les bétons à base de chaux peuvent être employés et moulés directement en pleine mer, tandis que par les procédés ordinaires ils exigeraient une exposition à l'air de six mois avant de pouvoir être immergés.

Cet essai, dont le résultat heureux a dépassé nos espérances, démontrerait la possibilité pratique de réaliser une autre conception de Votre Majesté.

Toute construction à la mer entraîne dans l'état actuel des choses des dépenses effroyables : la digue de Cherbourg a coûté quatre-vingts millions ; la digue de Saint-Jean-de-Luz, qui n'aurait que douze cents mètres de longueur, coûterait trente millions, et encore, malgré ces dépenses, il n'est pas rare de voir une seule tempête détruire d'un seul coup tous les travaux accomplis.

Le procédé actuel consiste à arracher les montagnes de leur base, à en combler le fond de la mer, et sur les monceaux de débris de rocs venant jusqu'à fleur d'eau, à établir un mur de quai de quelques mètres d'épaisseur.

L'énormité des dépenses actuelles, l'incertitude des résultats, ont fait concevoir à Votre Majesté la pensée que s'il était possible de construire à bon marché des blocs factices de grandes dimensions, capables de résister à la mer, on pourrait, en donnant à ces blocs une forme régulière et conforme à ce que peut exiger la science, et une dimension et un poids qui leur permissent de résister à l'action de la mer la plus violente, les immerger de manière à former des assises régulières, même au fond de la mer; ils pourraient présenter à la lame les courbes les plus parfaites, et

les digues, pouvant avoir une assiette normale, seraient réduites au minimum d'épaisseur.

Par ce moyen, les enrochements pourraient être supprimés, la dépense serait réduite dans une incroyable proportion, et la résistance que ces digues opposeraient à la mer serait bien plus efficace que celle que l'on obtient aujourd'hui par les procédés ordinaires.

Étant résolue la question de la construction des blocs de béton aggloméré à base de chaux et à bon marché, l'application de ce système présenterait sans doute certaines difficultés en ce qui concerne le transport et la pose de blocs gigantesques de plusieurs centaines de mètres cubes; mais avec la science des ingénieurs français, cet obstacle ne peut être invincible; aussitôt que ce problème sera posé, il ne tardera pas à être résolu.

Si le succès, comme je l'espère, répondait à l'attente de Votre Majesté, les dépenses qu'entraînent aujourd'hui les travaux à la mer seraient certainement réduites de moitié et probablement de beaucoup au delà.

Alors même que, contre mon espérance, les bétons à base de chaux ne recevraient pas de l'agglomération la propriété de résister à l'action dissolvante de l'eau de mer, les dépenses d'expérimentation que Votre Majesté a ordonnées ne seraient point perdues, puisque je n'aurais pas mois obtenu les résultats les plus précieux pour les travaux à exécuter à terre, ou au contact de l'eau, résultats tellement importants qu'alors même que, contre mes prévisions, j'échouerais complétement à la mer, les emplois possibles sur terre présenteraient une compensation plus que suffisante.

C'est ainsi que je suis parvenu, d'une manière régulière et certaine, à obtenir en tous lieux, avec tous les sables siliceux, avec toutes les chaux et tous les ciments, et par l'application systématique du principe de l'agglomération, des bétons qui en quelques jours deviennent aussi durs que la pierre de très-bonne qualité, bétons denses, compactes, imperméables et capables de résister d'une manière absolue à toutes les intempéries, puisqu'il suffit de vingt-quatre heures seulement après leur confection pour qu'ils deviennent insensibles aux plus rudes gelées.

Les bétons que j'obtiens ainsi par l'agglomération sont en réa-

lité de la pâte de pierre, ayant l'avantage de se trouver en tous lieux, de ne coûter aucuns frais d'extraction, de ne pas exiger de transport, de recevoir par le moulage toutes les formes qu'on voudrait lui donner, et par conséquent d'être d'un emploi plus commode et de coûter beaucoup moins cher que la pierre naturelle.

De plus, cette pâte de pierre a, sur la pierre naturelle, l'incomparable supériorité de former par le moulage un tout homogène et continu, de telle sorte que toute construction, quelles que soient sa destination, sa forme, sa masse et sa capacité, ne forme qu'un monolithe sans joints, sans fissures, sans solutions de continuité. — Ce dernier avantage, à lui seul, est une conquête précieuse pour l'art de construire, et ouvre à l'ingénieur et à l'architecte des horizons tout nouveaux.

Les résultats nouveaux et importants qui peuvent provenir de l'emploi des bétons agglomérés à base de chaux, sont tels, qu'il peut être utile de signaler quelques-unes des applications les plus remarquables qui peuvent en être faites.

C'est ainsi que l'agriculture peut y trouver le moyen d'élever à peu de frais tout un ensemble de bâtiments salubres, incombustibles et n'exigeant aucune réparation.

Je dis incombustibles, parce que tous ces bâtiments, y compris même les toitures, seraient intégralement en béton aggloméré. Le sol des écuries et des cours peut être recouvert d'une couche mince de ce béton imperméable, faisant écouler les engrais liquides dans des fosses également en béton, d'où les engrais, par des conduits en béton et à peu de frais, peuvent être versés au loin dans les champs; de même que, par un système de tubes et caniveaux en béton et à bas prix, il est possible d'organiser des irrigations mieux entendues qui augmenteraient le rendement des terres dans une large proportion.

L'agriculture trouverait un avantage peut-être plus important encore dans l'application qui pourrait être faite de ces bétons à la construction des silos propres à conserver les blés et les vins.

Ces bétons étant durs et imperméables, et formant un tout monolithe sans joints et sans fissures, réuniraient toutes les conditions

vainement cherchées ailleurs, surtout si l'on tient compte de l'extrême bon marché de ce genre de construction.

Et alors rien n'empêche de concevoir que les communes, d'après la même initiative qui a fait élever les fruitières communales du Jura, pourraient faire construire des silos communaux pour les blés et les vins, où, moyennant une légère rétribution, tout agriculteur pourrait faire conserver ses récoltes.

A plus forte raison peut-on concevoir que des récoltes ainsi protégées peuvent devenir un gage certain, une base sûre pour le crédit, de telle sorte que, grâce à la consignation dans les silos d'un gage certain en blés ou en vins, le crédit pourrait à peu de frais être mis à la portée de l'agriculture; ce qui permettrait au producteur d'attendre, pour vendre, le moment favorable de la consommation, au lieu, comme aujourd'hui, d'être forcé, pour se procurer quelques ressources, de sacrifier à vil prix ses produits.

L'industrie et la manufacture ne trouveraient pas dans l'emploi des bétons agglomérés de moins grands avantages que l'agriculture : maisons d'ouvriers élégantes, commodes, saines, chaudes en hiver, fraîches en été; — ateliers incombustibles; — scellement des machines; — dallage des ateliers, systèmes de canaux, égouts, réservoirs et tant d'autres trop longs à signaler.

Ces avantages ne seraient pas moindres pour la construction des habitations et des monuments publics, puisqu'ils donneraient, entre autres, des fondations et caves étanches, des fosses d'aisances et citernes imperméables, des rez-de-chaussée dallés à bon marché, des murs compactes, solides, sans tassements, des planchers et toitures indestructibles, le tout formant un monolithe capable de résister par sa masse et son unité à toutes les causes de destruction.

L'application des bétons agglomérés à la construction des toitures est surtout digne de fixer l'attention.

Ces toitures en béton peuvent être édifiées avec une égale facilité en terrasses ou en voûtes, de toutes formes, de toutes portées et présentant dans les deux cas une égale et complète résistance à l'action des intempéries et des gelées.

En toitures à forme de voûtes, en ogives, à plein cintre, sur-

baissées, en dômes, en coupoles ou autrement, le béton aggloméré, dur comme la bonne pierre, par le monolithisme, permet, avec une dépense qui ne dépasse pas celle des toitures les plus ordinaires, d'aborder sans crainte les plus grandes hauteurs, les plus grands diamètres; en un mot, par ce moyen, l'architecte peut se livrer à des hardiesses encore inconnues, sans avoir recours aux artifices de consolidation qu'exigent les procédés ordinaires.

En toitures à forme de terrasse, le béton aggloméré ne craignant rien des gelées, permet de transformer le dessus de chaque maison en un jardin, en un lieu de promenade où l'enfance pourrait trouver l'air et l'exercice qui lui manquent dans les grandes villes, modification architecturale pouvant donner naissance à de nouveaux usages, et qui rendrait d'immenses services aux populations, lesquelles conquerraient par ce moyen à la lumière et au grand air tout l'espace aujourd'hui perdu par le système ordinaire des toitures à pente rapide.

Les toitures de béton en voûtes ou en terrasse auraient sur les toitures ordinaires le double et immense avantage de n'exiger aucune réparation, et d'être incombustibles, ce qui est d'une haute importance pour la sécurité des grandes villes et pour la vie des ouvriers couvreurs.

Les applications des bétons agglomérés auraient une bien plus grande importance encore pour les grands travaux d'hydraulique et d'utilité publique.

Leur dureté, leur densité, leur imperméabilité, leur résistance aux intempéries, leur faculté de pouvoir toujours être employés à l'état monolithe, sans joints, sans fissures, sans infiltrations possibles, leur donneraient une supériorité incontestable et décisive sur les moyens actuellement employés, alors même que le prix de revient serait égal à celui des moyens ordinaires; à plus forte raison cette supériorité sera-t-elle évidente, si à la solidité, à la durée, se joint l'extrême bon marché.

Ainsi, par les procédés actuels, et quand il s'agit de construire des ponts, des quais, des réservoirs, des digues, les ingénieurs sont forcés de faire ces constructions en pierre de taille, qu'ils font venir à grands frais des points les plus éloignés, et encore, malgré

tout leur talent, malgré tous les soins, ne peuvent-ils presque jamais se mettre à l'abri des infiltrations et de l'action des gelées.

Avec les bétons agglomérés, au contraire, les matériaux se trouvent à pied d'œuvre, ce qui, combiné à l'absence de tous joints et à l'imperméabilité, donne tout à la fois le bon marché et la négation des causes ordinaires de destruction.

De telle sorte, par exemple, qu'un pont, même de la plus grande dimension, ne formant qu'un monolithe, non-seulement coûterait trois ou quatre fois moins qu'un pont construit par les moyens ordinaires, mais encore présenterait une solidité bien plus grande.

Les mêmes avantages seraient bien plus évidents encore pour l'endiguement des rivières, car les digues que l'on construit aujourd'hui par les procédés ordinaires ou coûtent trop pour pouvoir être généralisées, ou manquent de solidité si l'on veut éviter la dépense; par les digues en béton aggloméré, on obtiendrait tout à la fois le bon marché et le maximum de résistance et de durée, puisque le lit même des rivières à endiguer fournirait la matière première pendant que ces digues formeraient un monolithe dans toute leur longueur et leur épaisseur inattaquable par les eaux, puisqu'elles seraient inaccessibles aux gelées et ne présenteraient dans toute leur masse ni joints ni fissures.

Le monolithisme, l'imperméabilité, la solidité et le bon marché ne seraient pas moins précieux pour les constructions de tous aqueducs et égouts qui, n'ayant ni joints ni fissures, ne perdraient pas une seule goutte d'eau et seraient capables de résister à toutes les pressions régulières, quelque grandes qu'elles pussent être.

De là, le moyen certain de pouvoir amener à peu de frais de l'eau potable dans les villes, de construire des réservoirs suffisants et d'une résistance complète.

L'art de la guerre lui-même trouverait dans l'emploi des bétons agglomérés des moyens puissants et nouveaux de défense et de conservation.

En effet, des remparts en bétons agglomérés, monolithes dans toute leur épaisseur, offriraient aux projectiles une résistance bien plus efficace que ceux de maçonnerie de pierres ou de briques; ces derniers, on le sait, s'écroulent très-facilement dans toute leur

hauteur aussitôt que la ligne de brèche a pu être tracée à leur partie inférieure, et les pierres écroulées servent à rendre l'assaut plus praticable; il n'en serait point ainsi avec des remparts monolithes de béton aggloméré : le boulet s'y amortirait, produirait moins d'éclat, et l'écroulement n'aurait pas lieu, alors même que la ligne de brèche traverserait le mur de part en part.

Cette résistance produite par le monolithisme permettrait aussi de construire des casemates avec voûtes, résistant d'une manière bien plus énergique à l'action des bombes que la maçonnerie ordinaire; de même que l'imperméabilité rendrait les bétons agglomérés bien plus propres que tous autres moyens à la conservation des poudres, des munitions, des approvisionnements.

Les bétons agglomérés trouveraient bien d'autres applications aussi importantes que celles qui viennent d'être signalées; mais une plus longue énumération serait inutile; ce qui a été dit suffit pour démontrer que, par leur emploi, l'art de bâtir vient de s'enrichir d'un élément nouveau et puissant, aussi bien par l'économie que par la solidité, le monolithisme et la résistance aux intempéries.

Aussi n'est-ce rien dire peut-être d'exagéré que de prétendre que ce nouveau mode de bâtir peut permettre de rouvrir l'ère des grands travaux d'utilité publique, qui ont jeté un si grand lustre sur l'époque romaine.

Que de travaux, ponts, aqueducs, viaducs, digues, barrages, réservoirs, pourraient être entrepris qui n'auraient pu l'être par les procédés actuels, par suite des dépenses qu'ils entraîneraient!

L'avenir des petites lignes de chenins de fer, pour lesquelles on ne peut faire de grands frais, dépend peut-être de l'application de ce mode nouveau, qui donnera les moyens d'exécuter les travaux d'art avec une merveilleuse économie.

Ce mode de bâtir présente même de certains avantages politiques, dignes, je le crois, d'attirer l'attention de Votre Majesté.

De temps à autre, dans les temps modernes, des crises industrielles et commerciales se déclarent, qui laissent sans ouvrage de nombreux ouvriers de toutes les professions. Dans ce cas, le Gouvernement vient en aide aux populations en organisant des travaux,

où tout homme, en utilisant ses forces, peut gagner un salaire; mais comme ces travaux doivent être accomplis par des hommes sans expérience, ils se bornent ordinairement à des terrassements, qui n'ont pas toujours une utilité immédiate.

L'emploi des bétons agglomérés pourrait ouvrir, dans des circonstances semblables, un horizon nouveau tout entier; car, dans ce cas, sauf quelques ouvriers chefs, procédant à la confection des bétons et au moulage, tout homme, quelle que soit sa profession et sans apprentissage spécial, pourrait être utilisé, puisqu'il n'aurait que de la force à fournir, de telle sorte que l'on pourrait profiter des temps de crise pour élever des monuments d'utilité publique. Avantage précieux qui, joint à tous ceux qui résultent de l'application de ce procédé, le rend digne de l'attention que lui a porté Votre Majesté, et de l'initiative qu'elle a prise pour son expérimentation.

Paris, le 10 mars 1859.

RAPPORT

FAIT

A SA MAJESTÉ L'EMPEREUR NAPOLÉON III

SUR L'ÉTAT ACTUEL

DES BLOCS DE BÉTONS AGGLOMÉRES

A BASE DE CHAUX

EXÉCUTÉS A SAINT-JEAN-DE-LUZ

PAR FRANÇOIS COIGNET,

INGÉNIEUR CIVIL ET MANUFACTURIER.

SIRE,

Le 10 mars 1859, j'ai eu l'honneur d'adresser à Votre Majesté un premier rapport sur l'exécution des essais qu'Elle m'avait ordonné d'accomplir à Saint-Jean-de-Luz, sur l'emploi à la mer des *bétons agglomérés* à base de chaux, mis en œuvre d'après les procédés au moyen desquels j'avais déjà construit, également par Ses ordres, une maison, ainsi que d'autres travaux, au bois de Vincennes.

En m'ordonnant de faire ces essais, Votre Majesté se proposait de savoir, d'une manière positive, si le principe de l'agglomération appliqué aux bétons à base de chaux ne produirait pas à la mer des résultats aussi remarquables que ceux obtenus sur terre.

Soumis à l'agglomération, les bétons à base de chaux acquièrent une prise beaucoup plus rapide que par les procédés ordinaires; leur densité est beaucoup plus grande, leur résistance à toutes les causes de destruction beaucoup plus énergiques.

Votre Majesté, ayant constaté ces propriétés nouvelles, conçut la pensée d'en faire l'application aux bétons à la mer, et je reçus en conséquence l'ordre d'exécuter à Saint-Jean-de-Luz des essais suffisants, ayant pour but de démontrer *si, par le fait de l'agglomération, il ne serait pas possible d'employer avec succès à la mer des chaux et des ciments vulgaires, qui, employés d'après les procédés ordinaires, ne peuvent résister à l'action dissolvante de l'eau de mer.*

De telle sorte que si le succès répondait aux vues de Votre Majesté et à ses espérances, il deviendrait possible, dans les travaux à la mer, de se servir *des chaux et ciments de chaque localité, dont le prix est toujours peu élevé*, tandis qu'aujourd'hui, par les procédés ordinaires, les constructions maritimes, pour obtenir quelques chances de durée, et encore ces chances sont bien précaires, ne peuvent être édifiées qu'au moyen de quelques rares chaux et ciments très-éloignés et par conséquent très-coûteux.

Ainsi que je l'ai constaté dans le premier rapport que j'ai eu l'honneur d'adresser à Votre Majesté, les essais ont été exécutés en plein hiver; commencés le 28 novembre 1858, ils ont été terminés à fin janvier suivant. Malgré les pluies et les gelées, ils ont été accomplis avec un succès complet.

Ces essais ont porté sur six chaux et six ciments divers.

Des six chaux, une seule, la chaux du Theil, a la propriété de résister à la mer; les cinq autres, appartenant à la localité et à d'autres contrées de la France, sont connues pour ne pas résister à l'action de l'eau de mer.

Ces chaux sont :

1° La chaux de Bidart, village situé à deux kilomètres de Saint-Jean-de-Luz. Cette chaux est dite grasse et n'est que peu ou point hydraulique ;

2° La chaux de Chasconéa, que l'on trouve également dans les environs de Saint-Jean-de-Luz. Cette chaux est moyennement hydraulique ;

3° La chaux factice de Bougival, près Paris, chaux hydraulique préparée par un mélange artificiel de chaux grasse et d'argile ;

4° La chaux de la Mancelière, moyennement hydraulique et que l'on trouve à vingt lieues de Paris, environ;

5° La chaux d'Échoisy, ayant de bonnes qualités hydrauliques, se trouve dans les environs d'Angoulême;

6° La chaux du Theil, la meilleure chaux de France, se trouvant dans le département de l'Ardèche.

Les ciments sont :

1° Le ciment de Guétary, qui se fabrique aux environs de Saint-Jean-de-Luz ;

2° Le ciment d'Urugne, qui se produit aussi dans la même localité;

3° Le ciment d'Espagne, dont on se sert journellement dans les travaux de Saint-Jean-de-Luz et de Bayonne;

4° Le ciment de Pouilly;

5° Le ciment de Boulogne-sur-Mer, connu sous le nom de Portland français;

6° Et enfin le ciment de Portland anglais.

Tous les essais faits avec une même espèce de chaux ont formé une série : il y a donc eu six séries d'essais, puisqu'il y avait six espèces de chaux.

Chaque série se compose en premier lieu d'un bloc n'ayant pour base que la chaux même sans aucune addition d'aucuns ciments.

Chacun des autres blocs de chaque série contient une légère proportion d'un des ciments ci-dessus désignés.

Par ce moyen, j'ai confectionné un certain nombre de blocs formant chacun un essai différent, ces blocs étant destinés à être immergés dans la mer après un certain temps d'exposition à l'air.

Tels étaient les essais que Votre Majesté m'avait donné l'ordre d'exécuter.

Mais, ainsi que je l'avais déjà constaté dans mon premier mémoire, encouragé par le succès, j'ai tenté une expérience plus décisive et dont les résultats peuvent être bien plus concluants encore.

Au lieu de laisser les blocs de béton aggloméré à base de chaux exposés pendant plusieurs mois à l'air, j'ai opéré l'immersion de

quelques-uns de ces blocs quelques jours après leur confection ; j'ai fait plus encore, j'ai confectionné des blocs dans la mer elle-même, sur des rochers qui ne sont découverts à la marée basse que pendant une heure ou deux.

L'ensemble des essais se partage donc en trois catégories :

1° Blocs confectionnés à terre et exposés longtemps à l'air;

2° Blocs exécutés à terre et immergés dans la mer peu de jours après leur confection ;

3° Blocs construits dans la mer même, et par conséquent exposés aux efforts de la lame et à l'action dissolvante de l'eau de mer, dès la première heure de leur confection.

Ainsi que l'établissait le premier mémoire que j'ai eu l'honneur d'adresser à Votre Majesté le 10 mars dernier, c'est-à-dire fort peu de temps après la terminaison des essais, non seulement l'exécution avait été accompagnée d'un plein succès, mais encore l'état des blocs, soit sur terre, soit à la mer, ne laissait rien à désirer.

Si cet état de choses autorisait l'espérance, néanmoins l'épreuve n'avait pas encore une assez longue durée pour que l'espérance devînt une certitude.

La consécration du temps devenait nécessaire.

Aujourd'hui, fin août 1859, c'est-à-dire neuf mois après la confection ou l'immersion des blocs, je me suis transporté à Saint-Jean-de-Luz et je m'y suis livré à un examen très-attentif de chacun des blocs, soit sur terre, soit dans la mer, et, à la suite, je viens, dans ce rapport supplémentaire, soumettre à Votre Majesté les résultats actuellement obtenus, lesquels sont dignes, je suis heureux de le dire, de l'initiative qu'Elle a cru devoir prendre : ces résultats ayant atteint ou plutôt dépassé toutes les espérances.

Je ne m'arrêterai pas longuement sur l'état dans lequel se trouvent les blocs exécutés sur le sol et demeurés exposés à l'air.

Tous les blocs des séries suivantes :

A. A base de chaux de Chasconéa,

B. A base de chaux grasse de Bidart,

C. A base de chaux d'Échoisy,

D. A base de chaux du Theil,

E. A base de chaux de la Mancelière,

sont, *sans exception,* dans un état absolument parfait de conservation; ils ne présentent *aucune trace de détérioration;* ils sont durs, sonores, d'une apparence magnifique, même ceux qui ne contiennent que de la chaux sans aucune addition de ciment quelconque.

Toutefois, entre les diverses séries, il est facile de reconnaître des différences assez sensibles, de même que l'on en trouve également une entre les blocs d'une même série.

Tous les blocs sont bons et très-bons; mais il y en a de plus parfaits les uns que les autres, c'est-à-dire de plus durs.

D'où il résulte qu'il y a des chaux meilleures les unes que les autres, donnant des séries entières plus ou moins supérieures; de même que, dans chaque série, il y a des ciments supérieurs aux autres.

Les résultats permettent de classer les chaux ainsi qu'il suit, par degré de bonté, en commençant par les meilleures :

1° La chaux du Theil;

2° La chaux d'Échoisy;

3° La chaux de la Mancelière;

4° La chaux de Bidart;

5° La chaux de Bougival;

6° La chaux de Chasconéa.

Les ciments peuvent être classés ainsi qu'il suit, du moins d'après mes essais :

1° Ciment de Boulogne, dit Portland français;

2° Ciment de Portland anglais;

3° Ciment de Guétary;

4° Ciment d'Espagne;

5° Ciment de Pouilly;

6° Ciment d'Urugne.

Malgré ces différences, ou plutôt ces nuances dans la bonté, tous les blocs sont en si bon état qu'il est permis de ne pas douter du

succès quand ils seront immergés dans la mer, si l'on en juge par les résultats déjà obtenus au moyen des blocs presque immédiatement immergés ou construits dans la mer.

Toutefois, deux séries présentent un aspect moins complétement satisfaisant : la série I, ayant pour base la chaux du pays, dite Chasconéa, et la série H, ayant pour base la chaux factice de Bougival.

Les blocs de ces séries, quoique durs, sonores, présentent à la partie supérieure, non des dégradations ni des fentes, mais des apparences de fissures, toutes superficielles, ne paraissant pas pénétrer à l'intérieur, n'étant visibles que pour un œil exercé.

Ces apparences d'altération, très-probablement, ne nuiront pas au succès, car, ainsi qu'on le verra plus loin, des blocs confectionnés en même temps, de la même manière et avec le même béton, immergés depuis neuf mois, se sont parfaitement conduits à la mer; à plus forte raison s'y conduiront-ils bien après être demeurés exposés à l'air pendant si longtemps, ce qui a augmenté leur dureté et leur imperméabilité dans une énorme proportion.

Cette infériorité, plus apparente que réelle, doit être attribuée, en ce qui concerne la chaux de Chasconéa, à une mauvaise fabrication provenant, soit de l'emploi de mauvais combustibles, soit de ce que les fours, ne fonctionnant que deux ou trois fois par an, donnent une cuisson inégale; il a donc pu arriver que la partie de chaux de Chasconéa, qui a servi à faire la série I, se trouvant mal préparée, les résultats un peu moins favorables qu'elle a donnés doivent dépendre, non de sa composition chimique même, puisque la série A, ayant pour base la même chaux, a donné de bons résultats, ce qui indiquerait qu'elle aurait été mieux préparée, mais d'une mauvaise préparation.

Quant à la chaux factice de Bougival, qui a servi de base à la série H, il se peut qu'étant excessivement maigre, il eût fallu en introduire une plus forte proportion.

Mais, je le répète, de ce que les séries I et H ont une apparence un peu moins parfaite, il n'en faut pas conclure qu'elles ne résisteront pas à la mer, car des blocs des mêmes chaux résistent depuis neuf mois, et, d'ailleurs, leur infériorité n'est que relative et par comparaison avec les blocs superbes des séries A, B, C, D et E.

Comme le contact de l'eau de mer et le temps peuvent seuls prononcer sur le plus ou moins de bonté des matériaux employés, l'immersion de ces blocs n'étant point encore opérée, il n'y a pas lieu de prononcer sur eux un jugement prématuré sur leur résistance à la mer; mais il est permis de dire dès ce moment que des bétons agglomérés, qu'ils aient pour base des chaux grasses ou hydrauliques; quoique confectionnés en plein hiver, peuvent demeurer exposés sans abri à toutes les intempéries, à la gelée, à la pluie, comme au soleil brûlant du midi, *sans éprouver même l'apparence de la plus petite détérioration;* ce qui, dans tous les cas, est d'une haute importance pour les travaux exécutés sur terre.

Ne pouvant rien conjecturer en ce moment en ce qui concerne les blocs demeurés à terre, il n'en est pas de même de ceux qui ont été immergés depuis le commencement des travaux.

Les bétons immergés peuvent se classer en deux catégories :

L'une se compose de blocs immergés dans la mer, après avoir été exposés seulement quelques jours à l'air.

L'autre se compose de pilots confectionnés en pleine mer, sans exposition préalable à l'air.

La première catégorie, se composant de blocs immergés après exposition préalable de quelques jours à l'air, se partage en deux sections :

1° Blocs exécutés à Saint-Jean-de-Luz, au nombre de douze, avec les mêmes matériaux et en même temps que les gros blocs demeurés à terre;

2° Blocs confectionnés anciennement dans la manufacture de Saint-Denis, dont je suis l'un des gérants, au nombre de onze, et ayant pour base les chaux des environs de Paris.

Les douze petits blocs confectionnés à Saint-Jean-de-Luz, en même temps que les gros blocs, comprennent toutes les chaux essayées, *et, chose très-remarquable, tous, sans aucune exception, sont intacts et ne présentent aucune trace de détérioration;* un seul avait été arrondi et roulé par les vagues au moment même de l'immersion, et bien que cette épreuve lui ait fait perdre sa surface

un peu plus compacte que l'intérieur, ce qui est resté est demeuré dur et en parfait état.

De telle sorte que des bétons agglomérés et presque immédiatement immergés, ayant pour base même des chaux grasses (la chaux de Bidart et celle de Chasconéa), ont déjà pu résister à la mer pendant neuf mois sans subir d'altération. Le même fait s'étant présenté pour les blocs apportés de Saint-Denis, parmi lesquels il s'en trouve qui n'ont pour base que la chaux grasse de Meudon, chaux la plus grasse qui existe, sans aucune addition d'aucun ciment quelconque, il faut bien en conclure que *l'agglomération donne au béton, ainsi qu'il y avait lieu de l'espérer et que l'avait prévu Votre Majesté, une force de résistance impossible à obtenir par les moyens ordinaires,* car, et je ne crains pas de le dire, si l'on avait confectionné, suivant l'usage, des blocs en même temps que les miens, ayant pour base la chaux de Meudon et la chaux de Bidart, et qu'on les eût immergés à la même heure, au lieu de résister pendant neuf mois et beaucoup plus sans doute, puisque cette longue exposition à la mer n'a produit aucune apparence de détérioration, ou ils se fussent délayés instantanément au contact de l'eau, ou certainement ils n'auraient pas résisté vingt-quatre heures.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants que les blocs de Saint-Denis, ayant pour base des chaux des environs de Paris, chaux grasse de Meudon, chaux d'Argenteuil, chaux de la butte de Belleville, chaux de Nucourt, toutes chaux connues pour n'être que pas ou peu hydrauliques, il en résulte, par le fait, que l'expérience faite à Saint-Jean-de-Luz embrasse la série tout entière des chaux connues, partant de la chaux de Meudon, la plus grasse qui soit au monde, pour arriver à la chaux du Theil, la plus hydraulique qui existe.

Si donc tous ces blocs résistaient à la mer, et les neuf mois de séjour déjà traversés permettent de l'espérer, il faudrait bien admettre comme vrai ce qui fait l'objet de l'expérience, à savoir que *la résistance à la mer ne provient pas tant de telle ou telle composition chimique des chaux, ciments et bétons, que de l'état moléculaire nouveau, résultant de l'agglomération.*

Cette preuve, pour être palpable, évidente, péremptoire, irréfu-

table, exige que ces blocs demeurent exposés à la mer un plus long temps encore.

Mais, en l'état actuel des choses, l'ensemble des blocs conserve une si belle apparence ; ils sont si durs, si intacts, que l'on peut croire avec quelque fondement qu'alors même que les chaux grasses de Meudon ou de Bidart succomberaient à la longue, les blocs ayant pour base des chaux plus hydrauliques auraient un meilleur sort.

C'est ce que le temps se chargera de prouver.

Les résultats offerts par les pilots ou blocs construits en pleine mer, sans avoir été préalablement exposés à l'air, sont plus remarquables encore, et présentent, s'il est possible, une plus grande importance pour l'avenir des constructions à la mer.

Ces pilots ou blocs, ainsi que j'ai eu l'honneur de le dire à Votre Majesté dans mon premier Mémoire, ont été construits à la marée basse dans des moules en bois.

Vingt-quatre heures après la confection, les moules étaient enlevés, de telle sorte que *les blocs, du jour au lendemain, demeuraient exposés directement à la mer,* devant ainsi résister à l'action mécanique de la lame aussi bien qu'à l'action chimique dissolvante de l'eau de mer.

Sur sept blocs ou pilots construits en pleine eau, après neuf mois d'immersion, cinq de ces blocs sont demeurés absolument intacts ; on dirait qu'ils sortent du moule, tant les plus minces arêtes sont vives et dures. Ils sont devenus noirs et brillants comme du granit ; ils sont durs et sonores sous le choc du marteau, auquel ils résistent comme la pierre de bonne qualité ; de telle sorte qu'au lieu de s'altérer, leur durcissement a suivi dans la mer la voie progressive qu'ils ont suivie à terre.

Leur solidité est si grande que l'un d'eux, le n° 3, a pu être construit dans l'endroit le plus exposé à la fureur de la mer, c'est-à-dire en avant de la pointe du musoir de la digue du Socoa. *On se demande comment, dans un tel lieu et malgré les tempêtes violentes qui ont fait tant de mal cette année aux travaux du port de Saint-Jean-de-Luz, il est possible que ces pilots soient restés debout.*

Quatre de ces blocs ou pilots, sur cinq qui ont été bâtis, ont pour

base la chaux du Theil; le cinquième est à base de chaux factice de Bougival, chaux qui, ainsi qu'il est dit plus haut, ne s'est pas parfaitement conduite à l'air; ce qui n'empêche pas que le bloc construit en pleine eau ne soit aussi dur et en aussi bon état que ceux à base de chaux du Theil: symptôme favorable qui permet d'espérer que tous les blocs restés à terre se conduiront bien à la mer.

Si ce fait se confirmait, et je ne doute pas qu'il ne se confirme, il tendrait à prouver que, contrairement à ce qui se passe par les procédés ordinaires, les bétons agglomérés résisteraient plus facilement encore à l'action de l'eau de la mer qu'à celle des intempéries atmosphériques; il prouverait que les bétons agglomérés se conservent mieux dans la mer qu'en plein air.

Deux autres blocs, car il y en avait sept, ont été altérés par la mer; l'un n'existe plus qu'à moitié, et ce qui en reste ne tardera pas à disparaître; l'autre existe encore aux trois quarts, mais le mal paraît arrêté, et la partie encore debout paraît vouloir résister. Ces deux blocs sont à base de chaux du pays, dite de Chasconéa, chaux de mauvaise qualité, ayant une prise très-lente et peu énergique.

Il résulterait de ceci que, si toutes les chaux peuvent recevoir de l'agglomération assez de cohésion pour que des blocs de béton résistent à l'action de la mer après avoir été exposés quelque temps à l'air, les bonnes chaux seules, c'est-à-dire ayant une prise rapide et énergique, chaux du reste que l'on trouve à peu près en tout lieu, peuvent être employées en pleine eau et donner des bétons durcissant avec assez de promptitude et d'énergie pour pouvoir en quelques heures résister à l'action mécanique de désagrégation de la lame, tandis que les chaux grasses ne pourraient résister qu'après une exposition plus ou moins longue à l'air.

Quoique quatre de ces pilots aient pour base la chaux du Theil, chaux réputée par excellence pour résister à la mer, il ne faudrait pas s'empresser de croire que ces expériences n'ont rien de remarquable, et qu'elles sont une répétition de ce qui se passe tous les jours en grand; on pourrait, en effet, trouver qu'il n'y a rien d'étonnant à ce que des blocs de béton, ayant pour base la chaux du Theil, aient résisté à la mer, puisque tous les travaux où on emploie cette chaux y résistent.

Mais il ne faut point oublier que, dans tous les autres ports où on confectionne des blocs de béton à base de chaux du Theil, ces blocs, avant d'être immergés, demeurent exposés préalablement à l'air pendant des mois et plus encore, tandis que les pilots de béton aggloméré ont été confectionnés en pleine eau sans exposition à l'air; différence si grande que si, par les procédés ordinaires, on s'avisait d'immerger ces blocs immédiatement après leur confection, fussent-ils en chaux du Theil, ces blocs, à supposer qu'on pût les mouvoir, ce qui ne serait pas possible, seraient balayés et dissous en quelques heures.

Ainsi qu'on va le voir, il peut résulter de ce qu'on peut confectionner des bétons en pleine mer au moyen de l'agglomération, en admettant toutefois leur résistance à l'action chimique de la mer, toute une révolution dans l'art d'élever des travaux de constructions à la mer; et c'est grâce à cette propriété de l'agglomération qu'il deviendra possible de réaliser l'idée conçue par Votre Majesté, d'opérer la construction de digues à la mer au moyen de pierres factices d'énorme dimension, capables, par leur forme, leur poids et par le monolithisme, de résister à la fureur des vagues, tout en donnant aux digues une épaisseur beaucoup moins grande.

Aujourd'hui, en effet, lorsqu'on veut construire une digue en mer par l'emploi des matériaux factices ou blocs de béton, comme ces blocs, avant d'être immergés, doivent demeurer exposés à l'air pendant un très-long temps, on est obligé de commencer les travaux longtemps à l'avance, de confectionner un nombre considérable de blocs, confection qui exige des superficies immenses que l'on n'a pas toujours à sa disposition (il en serait justement ainsi à Saint-Jean-de-Luz). D'aussi grandes superficies tiennent les blocs très-éloignés de la mer, d'où il résulte des transports difficiles et onéreux, ce qui, on le conçoit, oblige forcément à ne donner aux blocs qu'une dimension réduite, car sils étaient de grande dimension, le transport en serait impossible, sinon très-difficile et surtout très-onéreux.

Cette difficulté des transports entraînant l'obligation de ne faire que des blocs de petite dimension, lesquels ne présentent pas à la mer en tant que gravité une résistance suffisante, il devient pres-

que impossible de bâtir par assises et d'une manière régulière dans la mer, de telle sorte qu'on est réduit à jeter pêle-mêle ces blocs à la mer sans ordre et sans régularité, perdant ainsi toutes les forces de résistance qui résulteraient d'un mode de construction symétrique.

L'emploi des bétons agglomérés pourrait changer profondément les procédés actuellement en usage.

Ces bétons, acquérant une dureté suffisante en deux ou trois jours au plus, pourraient être immergés au fur et à mesure de leur construction.

Cette confection pourrait avoir lieu au bord même de la mer et sur un espace infiniment restreint, car il suffirait de faire chaque jour un bloc monolithe de très-grande dimension et auquel on donnerait toutes les formes exigées par les règles de l'art de construire.

Il suffirait de construire à l'avance trois ou quatre de ces blocs, de telle sorte que tous les jours on pourrait immerger un bloc confectionné depuis trois ou quatre jours à peine.

Ces blocs pourraient être confectionnés sur des plans et des rails qui permettraient de les faire avancer facilement vers la mer; ils ne donneraient donc lieu à aucune difficulté de transports. Puis, amenés sur le bord, ils seraient immergés par assises régulières jusqu'à ce que la maçonnerie formée par ces blocs surgît de l'eau à la marée basse; aussitôt qu'une partie de digue arriverait à ce point, on y établirait des moules dans lesquels on agglomérerait du béton tant et si bien que toute la partie d'une digue quelconque, destinée à demeurer hors de l'eau à la marée basse, formerait un tout monolithe reposant, dans la partie inférieure, sur des assises de blocs auxquels il donnerait une fixité, une assiette inconnue par les procédés ordinaires.

Ce nouveau genre de constructions donnerait lieu sans aucun doute à des tâtonnements dans les moyens mécaniques destinés à opérer l'immersion de blocs gigantesques; mais, puisqu'on a pu aller chercher l'obélisque de Luxor, puisqu'on a pu l'embarquer, le faire naviguer et le dresser sur la place de la Concorde, l'immersion de blocs situés sur le bord même de la mer, comparativement aux difficultés qu'a présentées l'érection à Paris de cet obélisque,

doit pouvoir être considérée comme un jeu d'enfants pour l'habileté et la science des ingénieurs français.

S'il en était ainsi; s'il était vraiment possible de confectionner des monolithes en béton aggloméré capables d'être immergés deux ou trois jours après leur confection; si ces blocs étaient faits sur le point même où aurait lieu l'immersion; si cette immersion pouvait s'accomplir de manière à former des assises régulières dont chaque pierre aurait toute l'épaisseur de la digue et présenterait à la mer les courbes les plus favorables; si ces premières assises, établies au fond de la mer, étaient reliées entre elles par une construction continue monolithe en béton aggloméré formant un seul bloc ayant toute la longueur de la digue, toute son épaisseur et toute sa hauteur hors de l'eau; en un mot, un bloc monolithe pouvant au besoin atteindre un cube illimité de plusieurs milliers de mètres, n'est-il pas évident qu'une digue de ce genre pourrait offrir à la mer une force de résistance dont on n'approcherait pas par les procédés actuels? ce qui permettrait d'en réduire l'épaisseur dans une très-large proportion.

Si bien que, soit par réduction des cubes, soit par la réduction des transports, soit parce que l'agglomération permet de réduire de moitié ou des deux tiers la quantité de chaux et ciments ordinairement employés, soit enfin parce que cette agglomération permettrait de se servir des chaux et ciments de toutes les localités et du prix le moins élevé, il doit forcément en résulter une prodigieuse économie dans la construction des travaux à la mer, ce qui est justement le but que l'initiative de Votre Majesté s'était proposé en ordonnant les essais de Saint-Jean-de-Luz.

Le 15 décembre 1859.

LETTRE

ADRESSÉE

AU GOUVERNEMENT DES PAYS-BAS

PAR FRANÇOIS COIGNET,

EN RÉPONSE A SA DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS

SUR LES ESSAIS EXÉCUTÉS A SAINT-JEAN-DE-LUZ.

MONSIEUR LE MINISTRE,

J'ai l'honneur de vous adresser ci-joint, comme réponse à la demande de renseignements faite par le Gouvernement des Pays-Bas, sur les essais à la mer exécutés à Saint-Jean-de-Luz, le Rapport qui a été remis à ce sujet à S. M. l'Empereur Napoléon III.

J'y ajoute, par les présentes, quelques renseignements techniques qui n'avaient pas à trouver place dans ce Rapport.

Les essais de Saint-Jean-de-Luz, conçus et ordonnés par S. M. l'Empereur des Français, ont eu pour but, ainsi que je l'établis dans le Rapport, de savoir si des bétons à base de chaux, non résistants à la mer par les procédés ordinaires, ne pourraient pas recevoir d'un nouveau mode de préparation, de composition, et surtout par l'agglomération, la propriété de résister à l'action dissolvante de l'eau de mer, aussi bien, et même mieux, que les bétons à base de chaux et de ciment ayant la réputation d'y résister.

Il n'existe en France qu'une seule chaux résistante à la mer, celle du Theil. Toutes les autres chaux, même les plus renommées, donnent, par les procédés ordinaires, des bétons qui, après un

temps plus ou moins prolongé, se ramollissent et se délayent dans l'eau de mer.

Ces bétons, composés en général de sable, de cailloutis et de chaux, forment une pâte molle qui, coulée dans des moules placés près du rivage, s'y solidifie à la longue, formant ainsi des blocs considérables que l'on ne jette à la mer que six mois au moins après leur confection.

Ces bétons de chaux, ainsi coulés, contiennent toujours un excès d'eau qui, par sa présence, éloigne les molécules de chaux et diminue dans une énorme proportion l'intensité de leur prise. Cet excès d'eau, en outre, en s'évaporant par la dessiccation des bétons, y laisse une quantité innombrable de vides, ce qui, joint au peu d'intensité de la prise, donne des bétons spongieux, friables, légers, absorbants et gélifs. C'est ce qui fait que les bétons de chaux ne peuvent être exposés aux intempéries, qui en amènent promptement la destruction.

Exposés à l'action de la mer, leur état de porosité produit une absorption énergique de l'eau marine, qui traverse les pores des bétons de proche en proche. Ces bétons, par rapport à l'eau de mer, ont une action analogue à celle d'une pierre à filtrer; l'action dissolvante de cette eau, incessamment renouvelée par la lame, trouvant à s'exercer sur des bétons poreux et friables, présentant des surfaces infiniment divisées, produit en peu de temps le ramollissement et la destruction des blocs.

Mais si, au lieu de couler les bétons à base de chaux suivant les procédés ordinaires, on les agglomère, on doit obtenir avec les mêmes matériaux des résultats tout à fait différents.

Les bétons agglomérés dont il s'agit doivent être composés de sables siliceux, de terre cuite ou pouzzolane, de chaux, auxquels, dans certains cas où on a besoin d'une prise très-rapide, on ajoute une très-faible proportion de ciment.

Ces bétons, au lieu d'être, ainsi qu'il arrive par les procédés ordinaires, coulés dans des moules à l'état de pâte molle, ce qui rend toute agglomération impossible, doivent être obtenus à l'état de pâte pulvérulente ou de poudre pâteuse qui, introduite dans le moule par couches minces, y est ensuite agglomérée par un pilonnage

opéré au moyen du choc répété d'un corps dur et pesant, lequel, peu à peu, serre le béton, le tasse et en rapproche énergiquement les molécules jusqu'à complète agglomération.

Ce mode de traitement donne des bétons qui, quoique à base de chaux, ont une prise prompte, énergique et intense; en quelques jours, des bétons de ce genre, devenus durs comme de très-bonne pierre, pourraient être immergés; et leur dureté va toujours en augmentant, jusqu'à égaler celle des meilleurs calcaires naturels.

Ces bétons ainsi préparés sont lourds, compactes, imperméables, et peuvent être exposés sans dommage et au bout de quelques heures à l'action des plus rudes gelées.

De telle sorte que des blocs composés de matériaux qui, employés par les procédés ordinaires, auraient été pénétrés et disssous par l'eau de mer, ces blocs, dis-je, par leur densité et leur imperméabilité, ne laissent point pénétrer cette eau dans leur intérieur, ni par absorption capillaire, ni par infiltration; par conséquent, la mer n'agit sur eux que par les surfaces, lesquelles ayant la dureté des calcaires durs, doivent lui opposer une résistance invincible, analogue à celle des calcaires naturels compactes, ainsi que je l'ai indiqué dans mon Rapport.

L'influence de l'agglomération est telle qu'elle me permet d'obtenir la plus excellente maçonnerie au moyen des plus mauvais sables siliceux et des chaux les plus médiocres, même des chaux grasses. J'obtiens journellement par l'emploi de ces matériaux, actuellement rejetés dans la pratique, des maçonneries parfaitement hydrauliques, très-résistantes, et pouvant braver toutes les intempéries. J'obtiendrais également de très-bonne maçonnerie par l'emploi des sables calcaires durs.

C'est ainsi qu'au bois de Vincennes, j'ai pu, avec un succès complet, recouvrir une partie du fond du lac d'une couche mince de ce béton, et construire une maison de garde, dont les planchers, les toitures en forme de terrasse, sont également en bétons, constructions qui, exposées sans abri, ont pu résister aux intempéries, aux gelées, quoique je n'aie eu à ma disposition pour les bâtir qu'un sable de mauvaise qualité, très-fin, et contenant beaucoup de marne.

Or, comme on trouve presque partout de la chaux plus ou moins bonne et des sables siliceux quelconques, ou même à la rigueur des sables calcaires durs, il en résulte qu'à peu près en tous lieux, il devient possible d'élever à peu de frais des constructions de tous genres, capables de résister à toutes les causes de destruction.

Je dis : à peu de frais, car l'agglomération a encore cet avantage de permettre, pour obtenir le maximum de prise et de résistance, de diminuer, dans une très-large proportion, les quantités de chaux ordinairement employées.

C'est ainsi que, pour la maçonnerie ordinaire, j'emploie les doses suivantes :

Sable selon la nature. . . .	6	ou	7	parties.
Terre cuite.	1		1	
Chaux en pâte.	1		1	
	8		9	

Si je veux obtenir une maçonnerie ayant une dureté plus grande ou une prise plus rapide, j'emploie :

Sable selon sa nature. . . .	5	ou	6	parties.
Terre cuite.	1		1	
Chaux en pâte.	1		1	
Ciment quelconque.	1/4	ou	1/3	
	7 1/4		8 1/3	

Soit le tiers de la chaux employée ordinairement à la confection des bétons ordinaires.

Dans tout ce que j'avance ici, il n'y a rien qui ne soit surabondamment démontré par l'expérience, et que je ne puisse aujourd'hui, avec une régularité et une certitude absolues, exécuter facilement en tous lieux.

Les doses que j'indique ci-dessus sont celles que j'ai employées dans les essais de Saint-Jean-de-Luz, et que j'emploie en ce moment même dans les essais que j'ai obtenu d'exécuter à Paris, à l'École des Ponts et Chaussées, dans sa succursale du quai de Billy.

Là, je ne fais pas d'expériences, elles ne sont plus à faire; mais

e démontre la valeur du procédé par des spécimens d'applications ayant rapport aux principales branches de l'art de construire.

Dans ce but je construis :

1° Un réservoir;

2° Un pont;

3° Un aqueduc;

4° Un toit en terrasse;

5° Un dallage pour passage de voitures;

6° Une bordure de trottoirs.

Ces expériences, dont le succès ne peut être douteux, ont pour but de prouver que le béton aggloméré, par sa dureté, sa cohésion, son adhérence, et par le monolithisme, donne des résultats nouveaux et impossibles à obtenir par les moyens ordinaires.

Ainsi, en ce qui concerne le réservoir, l'essai a pour but de démontrer qu'au moyen des bétons agglomérés, on peut, par le monolithisme, arriver à obtenir une plus grande résistance que par les moyens ordinaires, tout en diminuant l'épaisseur des parois dans une énorme proportion.

Cet essai consiste en une tour monolithe de béton aggloméré, devant contenir une colonne d'eau de 5 mètres de hauteur sur un diamètre de 1^{m}25, laquelle repose sur une dalle également en béton aggloméré, faisant partie dudit monolithe et ayant une épaisseur de 0^{m}50.

Cette dalle elle-même repose à vide, puisqu'elle ne porte que par son pourtour sur un soubassement en béton aggloméré, de sorte que cette dalle horizontale, par-dessus et par-dessous, présentant à vide une superficie de 1^{m}875, doit supporter une colonne d'eau de 5 mètres de hauteur, donnant un poids total de 9,375 kilos, soit 5,000 kilos par mètre superficiel.

Quant aux parois de cette tour monolithe, elles n'ont dans toute leur hauteur, même à la base, que la faible épaisseur de 0^{m}375.

Or, si d'après les procédés ordinaires on voulait construire une tour capable de résister à la pression d'une colonne d'eau de 5^{m}00, l'épaisseur réglementaire à donner à la base des parois étant la moi-

tié de la hauteur, les murs de ce réservoir devraient avoir 2ᵐ50, et non pas 0ᵐ375, ce qui donne en faveur des bétons agglomérés une épaisseur huit fois moindre.

Le pont consiste en une arche ayant une ouverture de 15 mètres pour une flèche au dixième de 1ᵐ50, et une épaisseur à la clef de 0ᵐ80, sur une largeur de 1 mètre.

Cet arc de pont tout entier, avec ses culées, forme un cube total d'environ 50 mètres, constituant un véritable monolithe.

Cet essai de pont est donc fait dans les conditions les plus difficiles qui aient jamais été mises en pratique; et si, comme je m'y attends, lorsqu'il sera mis en charge, il résiste autant, même plus que ne le ferait un arc de pierres établi dans les mêmes conditions, il demeurera prouvé qu'avec du sable et de la chaux, on peut faire, avec une dépense infiniment moindre, des travaux égaux, même supérieurs en solidité, à ceux obtenus par l'emploi de la pierre naturelle.

L'aqueduc consiste en un tube ayant une section intérieure de 0ᵐ40 de diamètre et des parois de 0ᵐ20 d'épaisseur.

Ce tube sera ultérieurement soumis à une pression considérable jusqu'à rupture destinée à constater la force et résistance intrinsèque du béton.

Le toit en terrasse est élevé à 3 mètres au-dessus du sol, et repose sur huit piliers isolés; il a une longueur de 6 mètres sur une largeur de 4 mètres, donnant une superficie totale de 24 mètres; il aura une épaisseur de 0ᵐ25 centimètres.

Ce toit, qui plus tard sera soumis à des charges excessives, a pour but de démontrer qu'au moyen des bétons agglomérés on peut obtenir des planchers et toitures monolithes, incombustibles, capables de résister à toutes les intempéries, à toutes les causes ordinaires de destruction, avec moins de dépenses que par les procédés ordinaires, ce qui donnerait la possibilité, qui n'existe pas aujourd'hui dans nos climats, de couvrir les habitations de toitures en terrasse, innovation dont on ne peut contester l'importance.

Le dallage est construit au passage même des voitures; il n'a qu'une épaisseur de 12 centimètres.

Ce dallage a pour but de démontrer qu'au moyen des bétons agglomérés on peut recouvrir des surfaces telles que des trottoirs,

promenades, cours intérieures des habitations, etc., exposés directement à l'air et aux intempéries, avec une grande supériorité de durée et de solidité sur l'asphalte, tout en réalisant une grande économie, et en se débarrassant de l'odeur désagréable de l'asphalte et des frais d'entretien perpétuel qu'il nécessite.

La bordure de trottoirs, formant une plate-bande de 0m20 de largeur sur 0m20 de hauteur, n'a pas pour but de prouver qu'on pourrait substituer dans les villes des bordures de béton à des bordures de granit, mais bien que le béton pourrait être employé pour établir à peu de frais des bordures solides, durables, inaccessibles à l'action des intempéries, sur les bords des routes et des promenades publiques.

De tout ce qui précède, il résulte qu'en ce qui concerne spécialement la Hollande, ou tout autre pays ayant la même constitution géologique, c'est-à-dire entièrement privé de pierres, il est possible, toutes les fois qu'il existera un sable siliceux quelconque, ou même un sable calcaire dur, et de la chaux hydraulique, fût-elle de médiocre qualité, d'obtenir à peu de frais des maçonneries monolithes, ayant la dureté de la bonne pierre et résistant parfaitement aux intempéries;

Que cette possibilité de bâtir sans pierres ni briques peut avoir, pour la Hollande surtout, le plus haut intérêt, puisqu'elle pourrait permettre d'élever, à peu de frais, des digues monolithes sans joints ni fissures, inattaquables par les intempéries et par l'action des eaux, et qui par conséquent donneraient à jamais la plus complète sécurité contre les efforts des tempêtes et des inondations.

J'espère, Monsieur le Ministre, que ces détails vous paraîtront suffisants pour vous permettre d'apprécier l'importance que ce nouveau mode de construire peut avoir pour la Hollande : dans tous les cas, je serai toujours prêt à répondre à toutes les questions que voudrez bien me poser.

J'ai l'honneur d'être, etc.

CONSTRUCTION

DE

DIGUES MONOLITHES

EN BÉTON AGGLOMERE,

NOTE REMISE A S. E. LE MINISTRE DU COMMERCE, DE L'AGRICULTURE ET DES TRAVAUX PUBLICS,

PAR FRANÇOIS COIGNET,

DE LA MAISON COIGNET PÈRE ET FILS ET Cie,

MANUFACTURIERS A LYON ET A PARIS.

Novembre 1859.

Il y a quelques années à peine, en 1856, que, grâce à une digue rompue et à un barrage opposé au cours du Rhône par un système de fortifications, l'inondation détruisait tout un quartier de Lyon, faisait périr un grand nombre de personnes, réduisait à la misère des milliers de familles, et renversait de fond en comble une immense manufacture appartenant à la société dont je suis l'un de gérants.

Ce malheur effroyable sévissait de la même manière sur tous les points de la France; partout les digues étaient rompues, précipitant sur les contrées qu'elles auraient dû protéger les masses des eaux amoncelées.

Depuis cette époque, les digues renversées ont été rétablies, de nouvelles digues ont été construites.

Mais les nouvelles inondations qui viennent de jeter la ruine et la désolation dans les provinces alpines, viennent de prouver, si cela eût été nécessaire, que les digues telles qu'on les construit aujourd'hui n'offrent pas une résistance suffisante au fléau qu'elles sont chargées de conjurer.

Les digues ne pourraient donner une sécurité à peu près certaine que si, ainsi que je le dis dans la note ci-jointe, elles étaient construites en pierres de taille de gros volume, soigneusement assemblées et jointoyées, et liées entre elles au besoin par des crampons en fer.

Ce genre de construction est impraticable, soit parce que la pierre de taille est d'un prix trop élevé, soit parce qu'on la trouverait rarement à proximité.

Les digues sont donc forcément construites en moellons, en petits matériaux dont le parement seul offre une certaine régularité d'assises; et c'est encore ainsi que l'on vient de construire la digue de la Tête-d'Or à Lyon.

Ces digues, pendant que leurs joints sont récents, résistent ordinairement aux inondations; mais bientôt, par l'effet des retraits, des tassements, des gelées, des affouillements, les joints se détruisent, les pierres s'ébranlent, et, tout à coup, vienne une crue d'eau plus forte, et les digues sont emportées, jetant la destruction sur les contrées qu'elles auraient dû garantir.

C'est ce qui est arrivé en 1840.

C'est ce qui est arrivé en 1856.

C'est ce qui vient de se renouveler dans toutes les contrées qui avoisinent les Alpes.

C'est ce qui se répétera à coup sûr dans un temps plus ou moins rapproché à Lyon et partout ailleurs.

Les causes de destruction des digues étant incessantes et inévitables, je me crus autorisé, il y a trois ans, à appeler l'attention de l'autorité, des savants et des populations, sur le système nouveau de digues plus solides, plus résistantes que celles de moellons, et qu'il serait si facile d'obtenir par l'emploi des bétons agglomérés.

Tout naturellement ma voix presque inconnue ne fut pas entendue.

Mais aujourd'hui que mes procédés sont plus connus et que l'expérience a prononcé sur eux, je crois de mon devoir de renouveler ma proposition et d'affirmer de nouveau que les digues en bétons agglomérés d'après mes procédés, par le fait du monolithisme, par leur masse, par leur homogénéité, leur imperméabilité, leur dureté, l'absence de joints, leur résistance perpétuelle aux gelées et aux intempéries, qui ne font que les solidifier davantage, offriraient une résistance assurée, de beaucoup supérieure à celle que pourraient donner les meilleures digues de pierres de taille, quoique ne coûtant pas plus cher que les digues de moellons.

Voilà ce que je puis affirmer être conforme à la vérité.

François COIGNET.

CONSTRUCTION

DE

DIGUES MONOLITHES

EN BÉTON AGGLOMÉRÉ.

Il est un fait bien à remarquer dans les désastres qui viennent de frapper la France : c'est que, sur tous les points et presque sans exception, les effets les plus cruels des inondations ont été la suite de la rupture des digues et chaussées.

Cela provient de ce que le niveau des eaux contenues par les digues, s'élevant à une beaucoup plus grande hauteur, la masse de ces eaux et leur vitesse s'accroissent outre mesure; de sorte que, si les digues viennent à céder, l'irruption sera d'autant plus impétueuse et désastreuse que la digue aura résisté plus longtemps.

Il en résulte que, si une digue qui résiste au fleuve est un bienfait pour les riverains tant qu'elle les protége, elle devient pour eux la cause d'un véritable fléau lorsqu'elle vient à se rompre.

Or, les digues telles qu'on les construit aujourd'hui finissent toutes, plus tôt ou plus tard, par se rompre, et l'on a le droit de se demander si elles sont un danger ou une cause de sécurité.

Elles se rompent malgré le talent, les soins apportés par ceux qui ont présidé à leur édification, parce que, à moins qu'elles ne soient entièrement construites en pierres de taille de première qualité, bien assemblées, bien jointoyées, ce qui est impraticable, à cause de l'énormité de la dépense et de la presque impossibilité de trouver partout de bons matériaux, l'action sans cesse répétée de la gelée ou des autres intempéries, les infiltrations, les affouillements, finissent par donner prise à l'eau, des tassements s'opè-

rent, des dégradations se manifestent, et, vienne une inondation, le jour où une pierre se détache, la digue est emportée.

Telle est la raison pour laquelle des digues, après avoir résisté pendant de longues années, sont ensuite renversées à la première occasion.

Ces conséquences de l'action incessante des eaux et des intempéries ne peuvent être contestées; mais, en admettant que les nombreuses ruptures de digues qui viennent d'entraîner tant de malheurs n'aient eu d'autre cause que leur manque d'épaisseur ou leur construction en mauvais matériaux, il en résulte que, si le gouvernement, ainsi qu'il en a l'intention, veut prévenir d'une manière certaine le retour des désastres produits par cette cause, il lui faudra s'engager, pour établir un système général de digues suffisamment résistantes, dans des dépenses telles, que l'imagination en demeure effrayée.

N'y aurait-il donc aucun moyen de résoudre le double problème du bon marché et de l'extrême solidité dans la construction des digues?

En ce qui me concerne, je crois cette double solution non-seulement possible, mais facile à établir.

Que l'on construise des digues en béton moulé et aggloméré sur la digue même, et l'on obtiendra des digues monolithes plus solides que si elles étaient bâties en bonne pierre de taille, et à moins de moitié du prix qu'elles auraient coûté si elles eussent été construites en mauvais moellons.

Les travaux que j'ai accomplis par l'emploi des bétons moulés et agglomérés sur le mur même, l'expérience que j'y ai acquise, me permettent de poser cette affirmation sans outrecuidance, sans crainte du ridicule.

J'en appelle à tous les ingénieurs; car il n'y en a pas un seu qui, dans sa carrière, n'ait composé, confectionné et employé des bétons.

Les nouvelles pierres factices que l'on fait en grand dans tous les ports de mer, et qui ne sont rien autre chose que des blocs de béton coulé, démontrent que mon affirmation a, dans la pratique,

une base certaine. Et, en admettant son exactitude, voici les résultats que l'on obtiendrait :

Une digue construite en béton aggloméré constituerait un seul bloc, un monolithe immense, sans joints, sans fissures, sans gerçures, dont les parois, par le fait du moulage, seraient presque glacées, polies, garantie certaine contre toute infiltration.

Ce monolithe pouvant avoir, suivant les besoins, 10, 20, 100 kilomètres de longueur, ne craindrait ni la gelée, ni les intempéries, ni les infiltrations : quelle action pourraient avoir les plus violentes eaux contre un pareil massif? Évidemment aucune; toujours en admettant l'hypothèse d'un bon béton aggloméré.

Quant aux affouillements qui entraînent presque toujours la destruction des digues ordinaires, ils n'offriraient aucun danger pour les digues de ce béton, parce que leur état monolithe et leur dureté confirmée déjà par l'expérience leur permettraient, en cas d'affouillement, de rester suspendues sur des points d'appui éloignés, la digue formant d'un point à un autre une espèce de pont. Je crois pouvoir affirmer que des affouillements de 15 à 20 mètres de longueur n'entraîneraient pas la rupture d'une digue en béton aggloméré et d'une certaine épaisseur.

Reste à savoir s'il est possible de confectionner d'une manière régulière et toujours soutenue, du béton durcissant rapidement, acquérant la dureté de la bonne pierre, ne donnant lieu à aucune gerçure ni fissure, résistant parfaitement à la crue des eaux et à toutes les intempéries.

L'expérience en main, j'affirme que c'est possible; et comme mon affirmation s'appuie sur des faits, j'ose solliciter une enquête officielle qui puisse constater les points suivants :

1° Les bétons moulés et agglomérés peuvent résister à l'action des eaux, puisqu'à Lyon les seuls bâtiments qui, dans notre usine dévastée et dans notre voisinage, aient résisté à l'inondation, sont des bâtiments en béton aggloméré; et qu'à Saint-Denis j'ai construit en béton aggloméré, des égouts, des citernes, des réservoirs d'eau, qui ont acquis une merveilleuse dureté, et résistent même au frottement continu de l'eau courante.

2° Les bétons moulés et agglomérés résistent à la gelée, puisque

les bâtiments que j'ai construits par ce moyen, laissés avec intention sans couverture, sans abri, exposés pendant dix ans aux gelées, à la neige, au dégel, ont résisté sans que ces intempéries aient exercé sur eux aucune espèce d'action.

3° Les bétons agglomérés peuvent acquérir la dureté de la bonne pierre, puisque les murs que j'ai construits avec ce béton défient pour ainsi dire l'action du pic et de la pioche.

4° Une digue monolithe en béton aggloméré pourrait défier les affouillements, puisque j'ai pu faire des plates-bandes horizontales de plusieurs mètres de portée, des arceaux de toute dimension, et surtout des planchers et des toitures de 6 et 7 mètres de portée sur une épaisseur de 20 à 25 centimètres.

Telles sont les raisons qui, au point de vue de la solidité, m'ont permis d'affirmer la possibilité d'établir des digues monolithes en béton moulé et aggloméré.

Quant à l'extrême économie, voici encore ce que l'expérience acquise me permet d'avancer :

Les éléments qui composent le béton que je crois le plus capable d'acquérir une prompte solidification sont :

Chaux,

Terre argileuse cuite,

Sables et graviers,

Main-d'œuvre.

A l'examen de ces éléments, il est facile de concevoir qu'ils doivent donner un prix de revient de beaucoup inférieur à la maçonnerie la plus grossière et la moins coûteuse. C'est ce que nous allons examiner avec quelques détails.

De la chaux.

Dans l'état actuel des choses, pour obtenir des bétons ordinaires acquérant un durcissement suffisant et passablement rapide, il est nécessaire d'employer des chaux hydrauliques de première qualité, qui, ne se trouvant que rarement à proximité, coûtent presque toujours très-cher.

En outre, afin d'obtenir une prise vigoureuse, la proportion de chaux doit être considérable; et encore le béton obtenu ne conserve-t-il le plus souvent sa dureté que sous l'eau, ou au moins sous le sol, à l'abri des variations atmosphériques.

Tandis que par les procédés que j'ai employés, par l'introduction de terre argileuse cuite, par le mode de trituration, de moulage et d'agglomération, la quantité de chaux peut être réduite dans une proportion considérable, jusqu'à n'en employer qu'un dixième, ou au plus un septième de la masse construite. De là une économie très-importante.

D'un autre côté, l'introduction de la terre argileuse cuite, rendant hydrauliques les chaux de médiocre qualité, et même les chaux grasses, il en résulte qu'au lieu d'aller chercher au loin et à grands frais des chaux de premier ordre, il est possible de se servir pour ainsi dire de la première chaux venue. Or, comme sur le cours d'une rivière il y a toujours des chaux quelconques, la rivière elle-même servant de moyen de transport, le coût de la chaux et son transport tomberaient au minimum possible, autre source féconde d'économie.

Terre argileuse cuite.

Pour obtenir la terre argileuse cuite, je me suis servi d'un four à réverbère dans lequel, moyennant la combustion de deux hectolitres de houille en poudre, j'ai pu obtenir UN mètre cube de terre cuite.

Il en résulte que, compris la main-d'œuvre et le pilage, ladite terre ne coûterait pas 1 franc l'hectolitre.

La terre argileuse cuite n'augmenterait donc pas sensiblement le prix de revient du béton.

Sables et graviers.

Pendant que dans la maçonnerie même la plus grossière, l'extraction et le transport des pierres entraînent des frais très-considérables, les sables et graviers sont fournis par le lit de la rivière à

endiguer, et se trouvent par conséquent constamment à pied-d'œuvre.

Ils ne coûtent donc que les frais d'extraction; de là une prodigieuse économie.

Que l'on joigne à cet avantage a considération de la suppression des transports, qui le plus souvent doivent être opérés à grands frais en l'absence de toutes routes tracées, et l'on reconnaîtra que la substitution des sables et graviers à la pierre procurerait une économie hors de toute évaluation possible.

De la main-d'œuvre.

Pendant que la construction en maçonnerie ordinaire, en y comprenant l'extraction des pierres, la taille et la pose, exige l'emploi d'ouvriers d'art existant en petit nombre et obtenant des salaires élevés, les constructions en béton ne demanderaient le concours que de simples manœuvres, que l'on pourrait se procurer partout en nombre illimité, et moyennant des salaires beaucoup moins élevés, première source incontestable d'une grande économie dans la main-d'œuvre.

D'un autre côté, par l'emploi d'un bateau portant une machine à vapeur destinée à opérer l'extraction du sable, au moyen d'une drague, et la trituration du béton; et avec le concours de trois ou quatre hommes intelligents, à savoir: un machiniste pour soigner la machine, un seul ouvrier capable pour diriger la trituration du béton, un charpentier pour conduire le moule où doit être aggloméré ce béton, il serait possible de fournir du travail à un nombre considérable de manœuvres, et de construire chaque jour une longueur considérable de digue.

La possibilité d'employer de simples manœuvres constituerait incontestablement une grande économie, mais encore apporterait peut-être le seul moyen de créer rapidement un système de digues complet; car sans cela, grâce au développement des travaux de construction sur toute l'étendue de la France, non-seulement les salaires des ouvriers constructeurs sont devenus très-élevés, mais le nombre des ouvriers disponibles est devenu extrêmement res-

treint, de sorte que si l'État et les communes voulaient obtenir une prompte édification de toutes les digues reconnues nécessaires, il y aurait à peu près impossibilité de se procurer un nombre suffisant de maçons et de tailleurs de pierre : cette difficulté serait levée par l'emploi du béton aggloméré.

De plus, ce qui n'est pas d'une mince considération, comme les riverains dépouillés par l'inondation pourraient être employés de préférence, ce serait un moyen indirect, mais très-efficace, de leur apporter un grand soulagement en leur donnant du travail.

La gravité de ces considérations ne peut être contestée, et c'est ce qui explique la proposition hardie que j'ose produire, mais que je crois justifiée, puisqu'il s'agit de l'intérêt général.

François COIGNET.

EXTRAIT

D'UNE LETTRE ÉCRITE PAR M. F. COIGNET

SUR

LA CONSTRUCTION

EN BÉTONS AGGLOMÉRÉS

DE DOCKS, BASSINS ET ENTREPÔTS.

MONSIEUR ET AMI,

.... Par la présente je réponds à la demande que vous m'avez faite, sur l'emploi des bétons de chaux agglomérés *pour la construction des docks, bassins et entrepôts.*

Depuis quinze ans j'étudie au point de vue théorique la question des docks, et j'ai reconnu que la question du bon marché, en tant que construction, y jouait peut-être le principal rôle; cette préoccupation n'a point été étrangère à mes travaux sur les bétons, que je considère comme le moyen de construire les docks à bon marché.

Le système des docks se compose de deux éléments principaux :

Les bassins,

Les entrepôts.

Je n'ai rien à vous apprendre pour les bassins; vous savez que par l'emploi des bétons agglomérés ils coûteraient infiniment moins cher que par les procédés ordinaires; ils résisteraient infiniment mieux à toutes les causes de destruction; l'ensemble des bassins, tant grands fussent-ils, formerait *un tout monolithe,* sans joints, sans fissures,

sans infiltrations; un bassin ne serait qu'un immense vase sans solution de continuité.

Inutile d'en dire davantage là-dessus, vous savez la vérité de tout ce que j'avance.

Mais l'emploi des bétons dans la construction des entrepôts présenterait des avantages spéciaux, plus originaux encore, plus importants s'il est possible.

Et d'abord et avant tout, cet emploi réaliserait sur les moyens ordinaires de construction une très-grande économie, en même temps que l'on obtiendrait une solidité incomparablement plus grande, puisque l'ensemble des entrepôts contigus, à partir des fondations jusqu'aux toitures et planchers, formerait un tout monolithe, solidaire du faîte à la base.

Mais en entrant dans les détails nous reconnaîtrons :

1° Que les caves seraient absolument étanches et que les eaux extérieures ne pourraient s'y introduire : on pourrait donc bâtir au-dessous du sol, et les marchandises n'auraient rien à craindre des infiltrations ;

2° Les sols de rez-de-chaussée seraient recouverts d'une couche de béton beaucoup plus dur que l'asphalte, mais *monolithe sans joints,* de telle sorte que les liquides répandus ne pourraient s'infiltrer ;

3° Les étages superposés seraient formés d'un système de voûtes et *planchers monolithes dans leur ensemble, ne formant qu'un tout avec eux-mêmes et avec les murs;*

Ce système de planchers pourrait supporter les charges les plus *énormes;* et pourrait, aussi bien que les caves et les rez-de-chaussée, recevoir des LIQUIDES *en entrepôt,* puisque chacun de ces planchers formerait une dalle monolithe parfaitement étanche.

4° Le dernier plancher supérieur formerait une toiture en terrasse, *absolument* résistante aux intempéries.

Cette terrasse pourrait servir en certains cas pour établir des séchoirs à l'air libre.

De cet ensemble, il résulte que les *entrepôts tout entiers* seraient construits sans l'adjonction d'*aucun bois*; ils seraient donc

incombustibles, et par un système de *portes en fer*, en cas d'*incendie*, on pourrait circonscrire le foyer et le cerner de telle manière qu'en fermant la porte, l'incendie s'éteindrait faute d'air.

En outre, il est possible d'établir, à la partie supérieure, des *réservoirs* en béton, contenant de l'eau pour porter secours en cas d'incendie.

J'insiste sur cette question d'*incendie*, qui est capitale, car ce procédé, mieux que tout autre, peut permettre de se mettre à l'abri.

De plus, comme le béton aggloméré est imperméable, il est possible, dans les caves et même dans les étages, d'établir des *silos* hermétiquement clos, pour la conservation des *céréales* ou autres corps solides, et *des citernes, foudres, caves, silos,* pour emmagasiner et conserver les *vins, alcools, huiles, etc.*, ce qui les mettrait bien plus encore à l'abri de l'incendie.

Il y a bien encore d'autres questions de détail; mais l'importance évidente de ce qui vient d'être dit est tellement dominante, qu'il serait oiseux de faire ressortir les avantages secondaires.

Je n'ai pas non plus à vous parler de toutes les applications accessoires, *scellement des machines, égouts, citernes, caniveaux :* qui peut le plus, peut le moins; je m'arrête donc là, et vous prie d'agréer, etc.

François COIGNET,

Ingénieur civil, à Paris.

CERTIFICAT

DE LA CAPSULERIE DE LA GUERRE.

Paris, le 19 juillet 1861.

CHER MONSIEUR,

Ce n'est qu'hier, en revenant de la campagne, que j'ai trouvé votre lettre, à laquelle je m'empresse de répondre aujourd'hui.

Voici ce qui est arrivé relativement au massif en béton de la machine à vapeur de la Capsulerie de guerre. A la suite d'infiltrations d'eaux, des affouillements se sont produits dans le sol, sous une extrémité même du massif; de telle sorte que toute la partie du massif qui porte la pompe à air s'est trouvée suspendue sans appui au-dessus du sol qui s'était affaissé. Bien plus, le bout du massif qui s'appuyait à un mur de soutenement qui avait suivi le mouvement du sol, résistant à son action, ne se rompit que par des éclats du béton qui restèrent adhérents à la maçonnerie du mur qui avait cédé. Mais ces éclats étaient tout à fait en dehors de la partie utile du massif, et la marche de la machine n'en put être affectée, en un mot, le bloc de béton du massif reste monolithe.

Les hommes compétents qui ont vu l'accident qui nous était arrivé, ont reconnu qu'aucun massif de pierre de taille n'aurait résisté dans ces conditions.

Les affouillements s'étaient en outre étendus sous les aires en béton des ateliers voisins, le sol s'était affaissé de 1^{m}50 en contre-bas des aires, sur une largeur de 1^{m}50 au moins et une longueur de 4 mètres environ : heureusement c'était dans une partie des ateliers où l'on ne dépose pas de lourds fardeaux. Quoi qu'il en soit, les aires n'ont pas plus bougé que si elles eussent été, comme

autrefois, soutenues par le sous-sol, et l'on ne s'est aperçu des excavations qu'indirectement. Cette circonstance est une nouvelle preuve de la solidité du béton et de l'utilité de son emploi sur un sol qui manque de consistance.

Je serais heureux que les renseignements que je vous envoie pussent servir à propager l'emploi du béton aggloméré, principalement pour les massifs de machines.

Veuillez agréer l'assurance de mes sentiments les plus distingués.

MARION,

Chef d'escadron d'artillerie,
Sous-directeur de la Capsulerie impériale de guerre.

A MONSIEUR A.....

INGÉNIEUR EN CHEF, A PARIS.

Monsieur,

Vous avez bien voulu me communiquer le rapport que vous vous êtes fait faire sur le mémoire concernant les bétons agglomérés, que j'ai adressé à l'Académie des sciences.

Ce rapport n'admet pas que j'aie apporté quelque chose de nouveau dans la théorie et la pratique de l'emploi des chaux et des ciments; il affirme que la théorie de la prise des chaux, qui attribuait cette prise à une combinaison chimique des éléments constituant les bétons, est aujourd'hui tombée en désuétude, qu'elle n'est plus enseignée, qu'elle est remplacée par la théorie de la prise des chaux proportionnelle à leur fermeté, et, comme pratique, le rapport ajoute qu'il est aujourd'hui vulgaire de gâcher le mortier ferme.

Mais si ce rapport conteste la nouveauté de la théorie que je croyais plus nouvelle, il constate que dans mon travail, s'il n'y a pas théorie nouvelle, il y a trois hypothèses dont il ne conteste pas la nouveauté, mais dont il ne peut admettre la réalité.

Ces hypothèses seraient :

1re *Hypothèse.* — L'excès de sable que j'emploie, loin de nuire à la dureté, à la bonté de la pierre obtenue des bétons agglomérés, ne fait qu'augmenter cette dureté et cette bonté.

2e *Hypothèse.* — Toutes les chaux hydrauliques, convenablement préparées, triturées, agglomérées, sont ramenées à l'égalité, puisqu'elles donnent des pierres qui, avec le temps, acquièrent une égale dureté.

Entre les diverses chaux hydrauliques, il n'y a pour ainsi dire qu'une question de temps, les chaux les plus médiocres finissant

par atteindre, avec le temps, la qualité des meilleures chaux dont la prise est seulement plus rapide.

3[e] *Hypothèse.* — La bonne préparation, la parfaite trituration, l'agglomération donnent à toutes les chaux une intensité et une rapidité de prise qui leur permettent de résister toutes à la mer, aussi bien, même beaucoup mieux, que les meilleures chaux employées aujourd'hui par les procédés ordinaires.

Telles sont les conclusions peu favorables de votre rapporteur.

Permettez-moi de discuter ces conclusions.

Il se peut qu'aujourd'hui, quand, depuis tant d'années, je nie, par tous les moyens en mon pouvoir, la théorie des combinaisons chimiques s'opérant après coup entre les éléments du béton, combinaisons qui donneraient la prise du béton et son durcissement ultérieur, et que j'affirme que l'intensité de cette prise, sa rapidité et le durcissement ultérieur des bétons sont une simple cristallisation de la chaux proportionnelle à la bonne préparation des chaux, à la trituration et à l'agglomération qui ne peut avoir lieu qu'à la condition que les bétons soient en pâte très-ferme, très-plastique quoique demi-pulvérulente et parfaitement homogène; il se peut qu'après que cette théorie a été insérée en 1857 dans les Annales des ponts et chaussées, que dès 1856 et chaque année j'en ai entretenu la société des ingénieurs civils, qui a inséré plusieurs documents sur cette question, qu'après en avoir fait, à trois reprises, l'exposition à la société d'encouragement, qu'après avoir publié plusieurs mémoires sur les essais à la mer que j'ai faits par ordre de Sa Majesté l'Empereur, il se peut, dis-je, que toute cette publicité ait pu, dans une certaine limite, contribuer à modifier les opinions généralement répandues.

Il se peut, en effet, que l'incertitude des travaux à la mer, avec la théorie des combinaisons chimiques, avec l'emploi des pouzzolanes, les désarrois qui ont accompagné les essais en grand des constructions de bétons durcies hors du sol, aient modifié les opinions répandues et aient amené un nouvel enseignement.

Cela est possible, en effet; mais si cette modification existe, elle est encore peu répandue dans l'enseignement, et, nous le croyons du moins, il n'y a pas encore de traité sur cette matière qui

l'adopte, qui la soutienne, de telle sorte que ce ne serait que dans la pratique de quelques ingénieurs que l'on serait arrivé à rejeter les anciennes théories et à adopter les nouvelles.

Mais si, dans la théorie des bétons agglomérés, il n'y avait rien de nouveau, pourquoi donc leur usage est-il encore tout à fait inconnu?

Pourquoi donc avec un mélange de

Sable	7
Chaux	1

personne ne fait de bonne pierre dure?

Pourquoi, avec ce mélange, ne fait-on donc ni maisons, ni digues, ni quais, ni barrages, ni ponts, ni voûtes?

Pourquoi, avec un mélange de

Sable	9
Chaux	1

pourquoi ne fait-on ni constructions agricoles, ni murs de soutenement?

Pourquoi avec	sable	7
	Chaux	1
	Ciment	1/4 ou 1/2

ne fait-on ni voûtes de grande portée, ni aqueducs, ni réservoirs, ni égouts, ni fosses d'aisances, ni bâtiments en élévation, ni citernes, ni massifs de machine?

Pourquoi avec	sable	6
	Chaux	1
	Ciment	0, 3/4

pourquoi ne fait-on ni trottoirs ni chaussées?

Pourquoi n'emploie-t-on à la mer que la chaux du Theil?

Pourquoi ne fait-on pas avec des bétons à base de chaux des pierres artificielles avec ou sans ornements, des pavés, des dalles, des briques, des bordures de trottoirs, tout, en un mot?

Il y aurait pourtant des avantages bien évidents à faire de vastes constructions monolithes, dont la puissance étonnerait l'imagina-

tion, à faire des pierres ne coûtant presque rien, puisque le sable et la chaux se trouvent à peu près partout.

Qu'est-ce donc qui retient les praticiens? pourquoi, s'ils ont si bien la théorie et la pratique, ne font-ils pas ce que j'ai si bien réussi à faire? Car tout ce que je viens d'énumérer et bien d'autres choses encore, je l'ai fait, je le fais et ne demande qu'à le faire encore, et aujourd'hui je ne redoute aucun insuccès.

Il faut donc qu'il y ait du nouveau; une étude plus attentive de la théorie que je préconise et de la pratique qui en est la conséquence, le prouvera chaque jour davantage et démontrera que s'il est bon de gâcher le mortier ferme, néanmoins ce tour de main ne suffit pas pour faire de la pierre à bon marché, dure, imperméable, résistant à toutes les intempéries et à la mer.

Si la gâchage ferme avait suffi, s'il y avait eu dans ce tour de main une théorie et une pratique consommées, il y a longtemps, en effet, que tous les constructeurs eussent élevé des monolithes ou fait de bonne pierre artificielle.

Pour qu'ils ne l'aient pas fait, il faut bien que la théorie ne soit pas très-répandue, ou qu'elle ne soit pas faite, puisque la pratique ne l'a point suivie; et les preuves que la théorie et la pratique sont encore à faire, c'est que dans les écoles, dans les administrations, on enseigne et on exige que les bétons soient faits avec des cailloux et du mortier, et par ce moyen on ne peut que couler des bétons sous l'eau ou sous le sol, mais on n'obtient que des bétons perméables, poreux, gélifs, légers, ayant des retraits, incapables de résister aux intempéries, tandis que moi, avec du sable et le quart de la chaux ordinairement employée, j'obtiens des bétons imperméables, denses, inaccessibles aux gelées; je donne à ces bétons toutes les formes, et je m'en sers pour construire à l'air, aux intempéries, les bâtiments les plus élevés, sans que jamais il se produise de tassements ni de fissures.

Il faut donc qu'il y ait quelque chose de nouveau dans mes procédés.

Si les faits prouvent que j'ai une théorie et une pratique nouvelles, il se trouve qu'en vertu de cette nouveauté, les nouveautés que monsieur le rapporteur traite d'hypothèses chimériques sont

tout bonnement des conséquences de la théorie et de la pratique nouvelles.

Ainsi, s'il est vrai que par les procédés ordinaires la bonté du béton soit proportionnelle à la quantité de chaux employée, ce qui du reste n'est pas plus vrai que pour les bétons agglomérés, car si la bonté des bétons était réellement proportionnelle à la quantité de chaux, on emploierait la chaux pure, tandis qu'il est parfaitement reconnu que des bétons où il entre du sable et du cailloutis, présentent une dureté bien plus grande que la chaux pure; est-il donc bien étonnant que, par extension de ce principe et par le fait de l'agglomération qui rapproche les molécules, réduit les vides, on arrive à obtenir une dureté bien plus grande encore que par les procédés ordinaires, tout en doublant et triplant les quantités ordinaires de sable?

Or, loin d'avoir fait une hypothèse, je persiste à dire que ce que j'ai affirmé est un fait prouvé par l'expérience.

La bonté des bétons agglomérés est proportionnelle, étant admise une trituration parfaite, à l'agglomération; tout béton mal aggloméré, fût-il préparé avec les meilleures chaux, est mauvais; tout béton bien aggloméré, même avec les chaux les plus médiocres, est bon, seulement l'état dans lequel les bétons doivent se trouver pour être bien agglomérés, est difficile à réaliser; un peu trop d'eau, trop de chaux rendent le béton trop mou, il fuit sous le pilon, il ne se serre pas, et la maçonnerie obtenue se trouve légère, poreuse, gélive, friable, tandis que si, entre autres tours de main nécessaires, on augmente la quantité de sable, le béton devient plus ferme, moins glissant, il fuit moins sous le pilon, il se serre, se tasse, se feutre sous le choc, et c'est ainsi que du béton à sept ou huit parties de sable pour une de chaux, donnera des pierres plus dures que les bétons classiques à deux ou trois de sable.

Sans doute, la bonté ne résulte pas de la diminution de la quantité de chaux, je n'ai jamais affirmé une telle chose, mais elle provient d'une agglomération plus facile, et c'est ce que j'ai toujours soutenu.

Il en est de même de la seconde prétendue hypothèse par laquelle j'affirmerais l'égalité de toutes les chaux.

Sans doute encore, dans les bétons préparés suivant les procédés universellement admis, la bonté des bétons est proportionnelle à la qualité des chaux, et cela est bien facile à concevoir, car ces bétons étant coulés avec un excès d'eau, leurs molécules sont tellement éloignées, que si l'on n'employait des chaux éminemment hydrauliques, ces bétons ne prendraient pas.

Mais dans des bétons préparés avec un grand minimum d'eau, parfaitement triturés, c'est-à-dire homogènes, fermes, plastiques, quoique en pâte pulvérulente, et ensuite agglomérés par un pilonnage énergique dans des moules, dans des bétons ainsi préparés, dis-je, les molécules de la chaux sont tellement rapprochées, il y a si peu d'eau entre elles, les bétons ainsi obtenus sont si compactes, si denses, que la prise en est surexcitée, son intensité et sa rapidité sont bien plus que décuplées, et c'est ainsi qu'avec toutes les chaux hydrauliques, et même avec la chaux grasse, on obtient de la maçonnerie dense, compacte, imperméable, insensible aux intempéries, une maçonnerie qui peut, sans écrasement, être élevée aux plus grandes hauteurs, car en quelques jours elle est aussi dure que la bonne pierre, et en quelques mois elle peut résister à huit ou dix kilogrammes par centimètre à l'arrachement, à des centaines de kilogrammes à l'écrasement, quelles que soient les chaux qui aient été employées, tandis que par les procédés ordinaires les bétons à base des meilleures chaux ne peuvent être employés qu'à bétonner le fond des lacs, c'est-à-dire à ne jamais être exposés à l'air.

Les effets de ce nouveau mode de préparation sont tels, que la plus mauvaise chaux donnera de la maçonnerie dix fois plus dure que la meilleure chaux n'en peut donner par les procédés ordinaires.

Quant à l'égalité entre les chaux, quoique je ne prétende pas qu'elle soit absolue, néanmoins j'affirme que la dureté obtenue par l'emploi des chaux les plus diverses, les meilleures comme les plus médiocres, approche tellement de l'égalité absolue que dans la pratique ordinaire cette égalité peut être admise.

Ainsi, que l'on fasse un bloc avec de la chaux du Theil, la meilleure de France, d'autres avec de la chaux d'Échoisy, de Tournay,

de la Mancelière, d'Argenteuil, etc., les meilleures chaux prendront plus vite, mais peu de jours après elles seront suivies de près par les plus médiocres, jusqu'à ce qu'enfin, après quelques semaines, la différence s'effaçant de plus en plus, on ne puisse plus trouver de différence entre elles.

Cela est facile à concevoir.

Plus une chaux est hydraulique, plus en général elle est maigre, plus elle est difficile à agglomérer, tandis que les chaux moins hydrauliques, ayant plus de liant, sont plus faciles à agglomérer, elles reçoivent donc de l'agglomération une plus grande compacité, elles sont plus imperméables; lors donc qu'à la longue la vraie cause de la grande dureté des bétons, c'est-à-dire la dessiccation et l'absorption et la fixation de l'acide carbonique, agit sur eux, les bétons à base de chaux moins hydrauliques s'assimilent sans doute cet acide carbonique avec plus d'avidité; toujours est-il, et tous mes travaux en fournissent une preuve irréfutable, qu'au bout d'un certain temps tous les bétons bien préparés et bien agglomérés sont aussi bons les uns que les autres.

Et de fait, avec toutes les chaux, je fais des trottoirs, avec toutes je fais des pierres dures, des dalles, des marches d'escaliers.

Ceci est un fait prouvé, et ce n'est point une hypothèse.

Quant à la troisième hypothèse, savoir, que toutes les chaux hydrauliques quelconques, bien préparées, bien triturées, bien agglomérées, résistent à la mer; ceci est encore un fait et non pas une hypothèse, car pendant que par les procédés ordinaires, la chaux du Theil est la seule en France qui résiste à la mer, et encore est-il bien certain que cette résistance soit durable? tandis que toutes les autres chaux se dissolvent toutes en un an, en un mois, en quelques jours, voilà trois ans qu'à Saint-Jean-de-Luz j'ai immergé des blocs de toutes chaux, même de chaux grasse, et au bout de trois ans, tous ces blocs sont intacts, absolument intacts, et la raison en est palpable.

La mer exerce une action chimique sur les bétons, mais pourtant cette action est assez faible pour qu'elle ne puisse s'exercer sur les calcaires naturels compactes, tels que marbres, cailloux, etc. Ces calcaires naturels durs, résistent parce qu'ils sont imper-

méables, que l'eau de mer ne fait que glisser sur leur surface, et parce que l'état cristallin vainc l'affinité de la chaux pour le chlorure de magnésium. Ces exemples d'anomalies dans les lois d'affinité sont fréquents en chimie.

Les bétons de chaux, au contraire, par les procédés ordinaires, sont poreux, absorbants, ils se laissent pénétrer par l'eau de mer qui peu à peu s'y trace des voies et des issues, de telle sorte que, soit affinité chimique des chlorures magnésiens, soit simplement effet de l'eau chargée d'acide carbonique, toujours est-il que les bétons se dissolvent plus ou moins vite à la mer selon qu'ils sont plus ou moins poreux, plus ou moins perméables, tandis que les bétons bien préparés, bien agglomérés, ayant une prise cristalline analogue à celle du marbre, étant denses, compactes, imperméables, l'eau de mer coule sur eux sans les pénétrer, et l'affinité du chlorure pour la chaux est vaincue par la dureté des surfaces et l'imperméabilité, comme il arrive pour les calcaires naturels compactes.

Cette théorie est si évidente, si claire et si nette que je ne crains pas d'affirmer que, loin d'être une hypothèse erronée, elle est la vérité, la loi des bétons à la mer.

Comme vous le voyez, Monsieur, ces affirmations sont bien précises; mais si j'affirme hardiment, c'est que j'ai la pratique pour moi, et tout ce qui se prouve par la pratique cesse d'être une hypothèse.

Votre position vous permet de vous assurer que tout ce que j'affirme est vrai; j'espère donc que vous voudrez bien me mettre à même de le constater.

J'ai l'honneur d'être votre très-humble serviteur.

François COIGNET.

A MONSIEUR H......

INGÉNIEUR A M.....

Monsieur,

Après un examen attentif des procédés que j'emploie pour la préparation des bétons agglomérés, examen fait avec toute la réserve que vous suggérait la prudence et votre haute expérience, vous avez bien voulu reconnaître que l'on pouvait en faire une application sûre et avantageuse à la construction des égouts et des fosses d'aisances; veuillez croire que c'est avec une satisfaction profonde que j'ai recueilli votre témoignage.

Toutefois, cette approbation ne s'est point étendue à l'application que j'ambitionne, à savoir, la construction des aqueducs avec pression et des grands réservoirs d'eau.

Vous croyez que, pour des aqueducs avec pression, les bétons agglomérés, en aucun cas, ne résisteraient aux coups de bélier, et en cas de pression régulière, celle d'un siphon, par exemple, qu'ils ne résisteraient pas à la pression de cinq ou de dix atmosphères; vous croyez, en outre, que soit pour les aqueducs, soit pour les réservoirs, les variations de température à l'extérieur, la différence de la température de l'eau à l'intérieur et de celle de l'air au dehors, amèneraient des dilatations, des retraits d'où, suivant votre opinion, résulteraient des fissures, des ruptures irréparables.

Malgré l'autorité incontestable de votre manière de voir, permettez-moi d'insister sur un des avantages les plus évidents des bétons agglomérés sur tout autre genre de maçonnerie, en ce qui concerne l'influence de la température, des dilatations et des retraits.

Tout d'abord, je ne crois pas être trop hardi en disant que s'il est vrai que la température puisse exercer une influence de dilata-

tion sur de la maçonnerie de béton aggloméré, il n'y a pas de raison pour que cette action ne s'exerce pas de la même manière sur de la maçonnerie de briques ou de moellons et même de pierres meulières; les pierres et les briques sont bien aussi impressionnables que le sable: seulement, avec la maçonnerie ordinaire, les dangers de dilatation sont d'autant plus dangereux que leur étanchéité ne provient que de la présence d'un enduit toujours prêt à se fendre et à se détacher de lui-même, avec ou sans dilatation de la maçonnerie extérieure, de telle sorte que les fuites d'eau pourraient se manifester, non pas seulement par des retraits de la maçonnerie, mais par un simple retrait de l'enduit intérieur;

Tandis que la maçonnerie de béton aggloméré forme un tout monolithe, sans enduit, sans un seul joint, et les fuites ne pourraient se produire non plus par une simple fissure d'enduits, mais par une véritable rupture de la masse même de la maçonnerie.

Or, une maçonnerie de béton aggloméré peut-elle se fendre soit par un retrait de la chaux, soit par l'action des différences de température? L'expérience et le raisonnement démontrent que ce n'est pas possible.

L'expérience prouve qu'il n'y a pas d'exemple qu'un mur plein de béton aggloméré ait jamais subi aucun retrait, aucune fissure; je vous citerai le mur de terrasse de Saint-Denis, au bord de la Seine, lequel a soixante-dix mètres de longueur, sept mètres de hauteur, un mètre d'épaisseur en moyenne; ce vaste mur est exposé sans abri au soleil, à la pluie et à la gelée; voilà huit ans qu'il brave les intempéries, il n'a pas une seule fissure, pas une seule!

J'en dis autant du mur de soutenement que j'ai construit, il y a sept ans, au chemin de fer de l'Ouest, aux Batignolles; il est intact.

Je puis aussi donner comme preuve d'absence de retraits des bétons agglomérés, le mur de quai du bassin de la Villette, que j'ai construit pour M. Hinguerlot; ce mur a 120 mètres de longueur, et il ne s'est pas produit une seule fissure.

Je citerai de même les immenses ateliers de notre manufacture, tous construits en béton, fondations, soubassements et murs; ces constructions sont soumises à toutes les températures et à toutes

leurs fluctuations; les uns soutiennent contre leurs parois d'un côté des fourneaux qui en élèvent certainement la température à plus de 100 degrés, tandis que de l'autre côté ils sont exposés à l'air, et même au contact de l'eau froide.

D'autres sont soumis à la vapeur brûlante, et à des courants alternatifs d'eau chaude et d'eau froide, et jamais ces conditions irrégulières, qui sont bien autrement rudes que celles des simples variations atmosphériques, qui ne dépassent guère 20 degrés, jamais, dis-je, ces variations n'ont produit la moindre rupture.

Je suis allé plus loin : j'ai fait (et je m'en sers tous les jours) des bassins où je fais bouillir de l'eau et que je remplis immédiatement d'eau froide, quand l'eau bouillante s'est écoulée.

Voilà ce que l'expérience prouve, et ce sont des épreuves que la maçonnerie ordinaire ne pourrait subir sans périr.

Le raisonnement explique le fait.

La maçonnerie de béton aggloméré ne subit pas de retrait par elle-même, parce que le sable étant en dominance, sept parties contre une de chaux, l'action de retrait des chaux se perd dans le sable, le béton aggloméré ne fend pas, et les trottoirs, les chaussées, les murs, les citernes, les égouts, les fosses d'aisances, les cuves de gazomètres le prouvent surabondamment; cette maçonnerie, en outre, ne fend pas, parce que, conduite avec unité et par couches successives et minces sur toute sa surface, une nouvelle assise n'est placée sur une assise déjà faite que lorsque cette première assise aurait eu le temps de faire son retrait, si elle en avait un à faire, ce qui n'est pas, de telle sorte que les parties hautes, les voûtes, ne sont édifiées que sur des maçonneries immuables.

Mais ce n'est pas assez que la maçonnerie de béton aggloméré ne soit pas susceptible de retrait ou soit insensible aux variations de l'atmosphère; il ne faut pas oublier que, tandis que la maçonnerie ordinaire n'offre aucune force de cohésion, aucune résistance à l'arrachement, ou du moins la résistance qu'elle peut offrir est tellement irrégulière et incertaine, que les constructeurs ont fini par la considérer comme zéro; la maçonnerie de béton aggloméré bien préparée, bien triturée, bien agglomérée, présente au bout de quelques semaines une résistance à l'arrachement de huit

à dix kilos par centimètre carré, résistance qui, à la longue, au contact de l'acide carbonique de l'air et des bicarbonates des eaux intérieures, arrive à quinze, à vingt kilos par centimètre.

En face d'une pareille résistance de cent à deux cent mille kilos par mètre superficiel, on conçoit qu'il faut une force de retrait bien plus considérable que celle que présente la maçonnerie de béton aggloméré pour la vaincre.

D'après cette évaluation, si l'on admet qu'il s'agit de construire un réservoir ayant de cinq à six mètres de hauteur, sur cinquante à cent de longueur ou de largeur, on trouvera que si l'on emploie les moyens ordinaires de construire, il faudra donner à la maçonnerie un poids spécifique suffisant pour résister à la pression de l'eau, à savoir, suivant les usages, la moitié au moins de la hauteur des murs, c'est-à-dire trois mètres au moins à la base, et un mètre cinquante au haut, soit une épaisseur moyenne de deux mètres vingt-cinq centimètres qui, multipliés par six mètres de hauteur, donnent treize mètres cinquante de superficie pour une section verticale.

Or, étant admis que la maçonnerie ordinaire ne résiste que par son poids, l'on trouve que si la même maçonnerie, avec la même épaisseur, était construite en béton aggloméré, non-seulement le poids spécifique d'une maçonnerie de béton dépasserait celui de la maçonnerie ordinaire, puisque chaque mètre cube pèse deux mille quatre cents kilos, mais encore on reconnaîtrait que la maçonnerie de bétons agglomérés présente, en sus de celle de pierre ou de briques, une force de résistance d'au moins 1,350,000 kilos pour une section verticale ayant, ainsi que nous l'avons vu plus haut, treize mètres cinquante de superficie.

En outre, comme un mur de béton ne peut se rompre sans se séparer de sa base et des côtés, on trouve que ce n'est plus seulement la résistance d'une section verticale que chaque mur oppose à la poussée des eaux, mais qu'il faut y ajouter la résistance de la section horizontale de la base dans toute sa longueur, soit plusieurs millions de kilogrammes, et plus encore, la résistance de la section des murs de côté.

Si bien que l'on peut affirmer qu'à épaisseur égale, un réservoir

de béton aggloméré offrirait une résistance à la poussée plus que décuple de celle de la maçonnerie ordinaire.

Donc, il en résulte évidemment la possibilité de diminuer les épaisseurs à la moitié, au quart, et même moins, de celles en usage.

Je sais qu'à cette évaluation, qui n'est exagérée qu'en apparence, on dira qu'un accident peut arriver, et qu'il suffit qu'il soit possible pour qu'on soit obligé d'en tenir compte.

A cela j'ai à répondre que, quelle que puisse être l'insuffisance des bétons agglomérés, elle n'atteindra jamais celle des moyens ordinaires qui n'ont pas empêché les déconvenues de Bordeaux, du Havre, de Madrid.

J'ajouterai que la maçonnerie de bétons agglomérés permet d'avoir recours à des moyens artificiels de consolidation qui seraient sans utilité avec la maçonnerie ordinaire; en effet, que dans le pourtour des murs et des voûtes on noie pendant le pilonnage des bétons, des chaînes de fer et des crampons à deux têtes, et par ce moyen l'on assurera cette maçonnerie contre toute chance possible de fissures, l'emploi du fer dans ces conditions, c'est-à-dire à l'état de chaînes et de crampons pilonnés dans le béton, ne présentant aucun des inconvénients des tirants ordinaires en fer.

Mais je considère l'emploi des chaînes comme une précaution superflue, le béton aggloméré présentant dix fois, vingt fois plus de résistance qu'il n'en faut.

Les raisonnements qui précèdent s'appliquent tout aussi bien aux tubes et aqueducs à pression.

En effet, grâce à la résistance à l'arrachement que donne le béton aggloméré et au monolithisme, aucune espèce de maçonnerie ne peut lui être opposée, nulle maçonnerie ne peut résister à une pression quelconque à l'intérieur, nulle maçonnerie ne peut former des siphons ayant plusieurs atmosphères de pression.

A part les bétons agglomérés, la fonte seule peut permettre de faire des conduites d'eau à pression intérieure, et capables de résister dans une certaine limite aux coups de bélier.

Mais la fonte coûte cher, et elle a le désavantage de s'oxyder, et

souvent de favoriser la formation des rognons calcaires qui obstruent les tubes.

Les bétons agglomérés coûtent beaucoup moins cher, le temps ne fait que les améliorer; ils ne provoquent pas la formation des rognons ferrugineux: donc, tout l'avantage serait pour les bétons, pourvu qu'ils résistassent à la pression et aux coups de bélier.

Or, pourquoi ne résisteraient-ils pas comme la fonte? La fonte, il est vrai, résiste à deux cents kilos par centimètre carré; mais les bétons résistent à dix kilos; il ne s'agirait donc que de donner au béton une épaisseur dix ou vingt fois plus grande que celle de la fonte pour arriver au même résultat.

Il n'y a donc aucune espèce de raison pour que les bétons ne soient pas substitués à la fonte, puisqu'ils ont sur elle l'avantage du bon marché et de la durée illimitée.

J'ose espérer que ces raisons, suivant moi évidentes, parviendront à ébranler les doutes que vous avez conçus; vous êtes un esprit trop impartial pour ne pas leur porter quelque attention.

J'ai l'honneur d'être, Monsieur, votre très-humble serviteur.

A MONSIEUR L.....,

ARCHITECTE A PARIS.

MONSIEUR,

Permettez-moi de vous soumettre quelques observations concernant la reconstruction du pavillon des Tuileries et d'une partie de la galerie du Louvre, lesquels menacent ruine, malgré l'épaisseur des murs construits en pierre de taille, malgré léur peu d'ancienneté, soit parce que le sous-sol, trop mouvant et sans cesse imbibé par les eaux de la Seine, n'a pas donné une assiette assez solide, soit parce que les pierres des fondations, ramollies par le salpétrage et l'humidité ont cédé sous le poids considérable de ces murs.

Quoi qu'il en soit, ces bâtiments sont en si mauvais état, qu'il faut les reconstruire; mais les mêmes causes produisant les mêmes effets, n'est-il pas à craindre que les nouvelles constructions, élevées sur le même sol et dans les mêmes conditions, ne subissent le même sort?

Sans doute, on cherchera à fixer le sol par des empâtements de maçonnerie et des pilotis, on donnera aux murs de base des assises plus larges, on emploiera, en un mot, tous les moyens les meilleurs que suggère la science.

Mais tous ces moyens, quand il s'agit de terrains mouvants, tout en coûtant fort cher, ne sont point un remède certain, ils ne sont qu'un palliatif; et, d'ailleurs, il est permis de croire qu'on les avait déjà soigneusement employés pour ce pavillon, pour la galerie du Louvre, aussi bien que pour ceux de l'Institut, et pourtant ils n'ont pas suffit.

Il s'agit donc aujourd'hui, malgré l'état mouvant des terrains du sous-sol, de reconstruire ces bâtiments d'une manière plus solide et de leur donner une assiette inébranlable, qui préviennent les tasse-

ments, les lézardes, les hors-d'aplomb, et en même temps qui mette les fondations à l'abri des infiltrations et du salpétrage.

Or, dans l'art actuel de construire, ces moyens n'existent pas : c'est en vain que l'on coule des lits de béton, que l'on jette des couches 'asphalte ; le béton se fend, il laisse passer l'eau ; et, comme il n'a qu'une très-faible cohésion, il ne suffit pas, sur les terrains mouvants, pour empêcher les tassements et les hors-d'aplomb.

Quant à l'asphalte, les années en amènent la désagrégation, et l'expérience a prouvé qu'on ne pouvait y compter.

Mais un moyen aussi économique que certain existe : ce moyen consisterait à établir dans la fouille, au fond de la tranchée et avant toute construction quelconque, un bloc monolithe de béton aggloméré d'après mes procédés ; ce bloc monolithe aurait non-seulement pour étendue toute la surface des bâtiments, mais encore il les déborderait tout autour de plusieurs mètres.

Or, comme le béton aggloméré, si l'on en juge par les trottoirs, chaussées, citernes, dalles, pavés, que l'on confectionne par ce moyen, acquiert rapidement des forces inouïes de résistance à l'arrachement (10 à 20 kilos par centimètre carré) et à l'écrasement (200 à 500 kilos par centimètre carré), il en résulte qu'un bloc monolithe comme celui dont je parle, formerait une pierre aussi dure que les meilleures pierres naturelles, mais d'un seul bloc, ce qui donnerait évidemment une assiette immuable, une unité parfaite au bâtiment tout entier.

Pour porter les constructions les plus élevées, les plus lourdes, les plus massives, il n'y aurait qu'à donner à ce bloc monolithe de fondation, une épaisseur assez grande pour que sa force de résistance à l'arrachement lui permît de supporter, sans se rompre, les murs supérieurs, alors même que le terrain mouvant du sous-sol céderait en de certains endroits.

Supposons donc que les murs du pavillon des Tuileries, de la base au faîte, aient une hauteur de 40 mètres sur une épaisseur de 0m80 en moyenne, nous trouverons que chaque mètre courant d'un mur de ce genre, déduction faite des ouvertures, pèsera environ 60,000 kilos.

On conçoit que le sol cède sous une pareille charge, mais un massif monolithe de béton aggloméré ne céderait pas.

Nous avons dit, en effet, que de bon béton aggloméré offrait une résistance à l'arrachement de 10 à 20 kilos par centimètre carré; par conséquent, chaque mètre superficiel de ce béton présentera à la rupture une résistance de 100,000 kilos. Si donc on donnait au massif inférieur de béton aggloméré une épaisseur d'un mètre, le poids à supporter étant de 60,000 kilos et la résistance du béton étant de 100,000 kilos, on conçoit que, quand même le sous-sol viendrait à manquer, la résistance vive du béton suffirait pour supporter le poids des murs sans se rompre.

Si, au lieu d'un mètre d'épaisseur, on en donnait deux, la résistance deviendrait alors tellement supérieure à la pression, que l'ensemble des bâtiments resterait debout sans lézardes, sans tassements, sans hors-d'aplomb, alors même que la moitié du sous-sol manquerait sous le massif de béton. On peut juger de la réalité de ces affirmations par le certificat ci-joint des directeurs de la Capsulerie de la guerre.

Sans doute, un massif de ce genre donnerait à l'ensemble des bâtiments une assiette absolument fixe; mais empêcherait-elle tout aussi bien les infiltrations et le salpétrage?

Oui, sans aucun doute, la partie inférieure de ces bâtiments serait à l'abri de l'humidité, des infiltrations et du salpétrage, si le procédé étant assez connu, inspirait assez de confiance pour que l'on construisît aussi en béton aggloméré et jusqu'au niveau du sol les fondations mêmes de ces bâtiments, de manière à ce que tout le sous-sol, y compris le massif de base, ne formât qu'un seul tout monolithe, condition évidente de la plus parfaite solidité.

Il est clair que, les bétons agglomérés étant imperméables, le massif inférieur et le mur extérieur de fondation ne présentant aucune ouverture et étant imperméables, les infiltrations, le salpétrage ne pourraient se produire, la conservation et la salubrité des constructions du sous-sol seraient absolument assurées.

Mais la question n'est point assez avancée pour qu'un architecte ose prendre sous sa responsabilité l'exécution d'un pareil projet, quelque certain qu'en soit le succès; il n'y a donc pas lieu d'insister pour la construction des fondations.

Néanmoins, les constructions du sous-sol pourraient être mises à

l'abri du salpêtrage et de l'humidité, si, sur la partie du massif monolithe formant la base et débordant le pourtour des bâtiments de plusieurs mètres, ainsi que nous l'avons dit, on élevait tout autour une espèce de mur d'enceinte en béton aggloméré sans aucune ouverture : ce mur, par son imperméabilité, empêcherait les infiltrations et le salpêtrage d'une manière aussi certaine que si les fondations elles-mêmes formaient un monolithe de béton aggloméré.

Je viens donc, en réalité, Monsieur, vous proposer, par la confection du massif de base et du mur de pourtour, le tout à l'état monolithe, de construire le pavillon des Tuileries et la galerie du Louvre dans une espèce de cuve étanche et imperméable, qui, par sa vaste étendue, sa résistance et son imperméabilité, assurerait à jamais la solidité et la conservation des bâtiments qui vont être élevés.

Une réalisation aussi originale, aussi nouvelle des bétons agglomérés ne serait pas indigne de la haute application sur laquelle j'ose appeler toute votre attention.

J'ai l'honneur d'être,

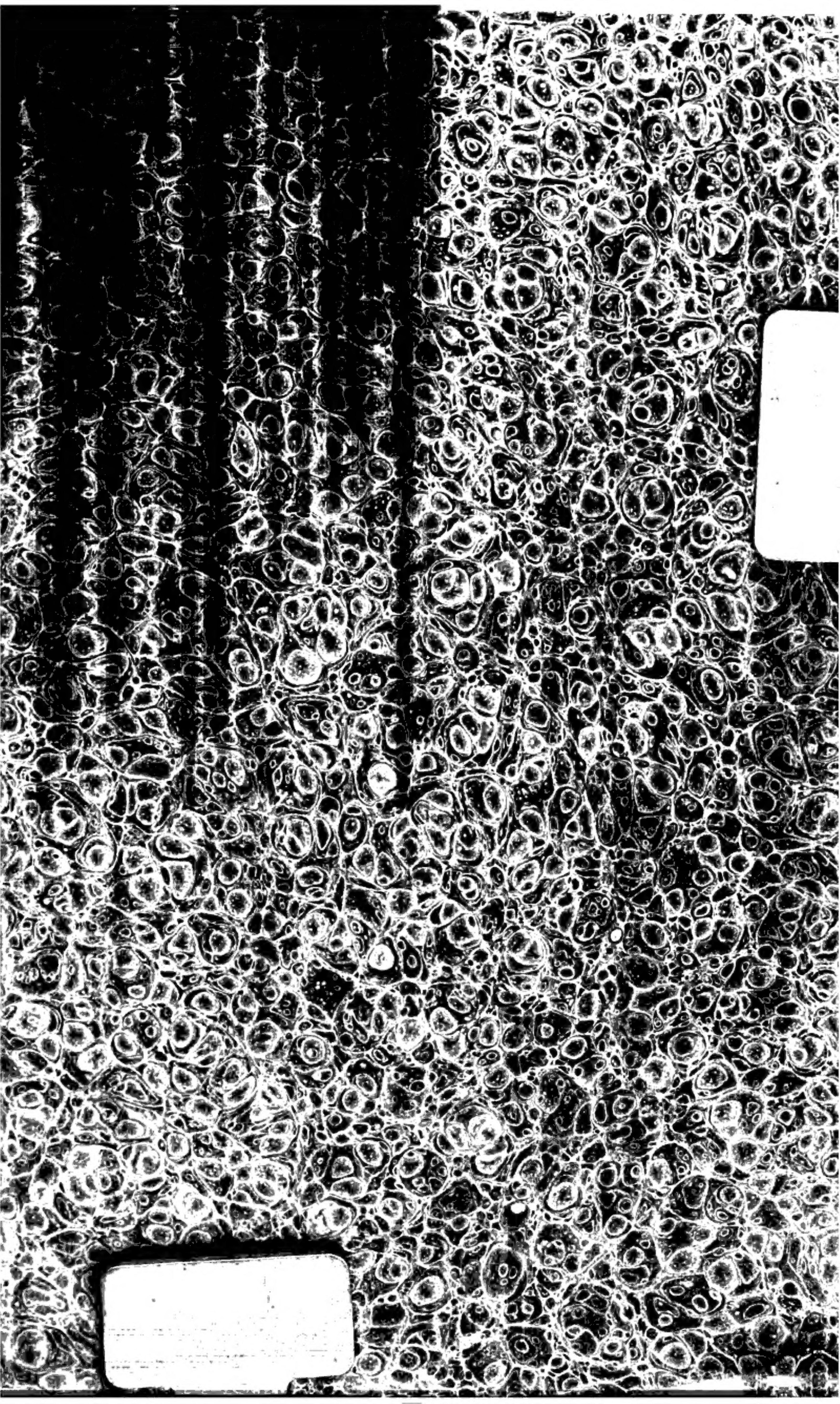
François COIGNET.

FIN.

TABLE.

FIN DE LA TABLE.

Digitized by Google



Digitized by Google